פרק ו - אנרגיה והספק חשמליים

האנרגיה החשמלית

כפי שראינו בפרק ד׳, מאלץ המתח החשמלי את הזרם החשמלי לזרום דרך ההתנגדות. כדי להתגבר על התנגדות זו, מושקעת אנרגיה חשמלית. בשם אנרגיה חשמלית אנו מכנים את היכולת לבצע עבודה חשמלית, כגון: תאורה חשמלית, הסקה חשמלית או הפעלת מנוע חשמלי.

האנרגיה החשמלית, המושקעת על-ידי מקור המתח, נצרכת על-ידי הצרכן בין אם הוא צרכן תאורה, צרכן הסקה, או כל צרכן חשמלי אחר.

האנרגיה החשמלית, אותה נהגים לסמן באות (W), מסופקת על-ידי חברת החשמל לבנייני מגורים ותעשייה, באמצעות הרשת הארצית.

ככל שמתח המקור (U) גבוה יותר, כן גדולה האנרגיה (W), אותה צורך הצרכן המחובר למקור המתח. אנו אומרים, אם כן, כי האנרגיה החשמלית נמצאת ביחס ישר למתח.

כמו כן, ככל שהמטען (Q), המסופק לצרכן, גדול יותר כן גדולה האנרגיה, אותה צורך הצרכן.

לפנינו שלושה גורמים הקשורים ביניהם. אם נסכם ונאמר, כי האנרגיה (W) נמצאת ביחס ישר למתח (U) ולמטען (Q), נוכל לכתוב:

$$\boxed{W = UQ}$$

ראינו בפרק ב׳, שהמטען החשמלי שוה למכפלת עוצמת הזרם במשך זמן הזרימה, היינו $Q = It$. נציב ביטוי זה בתוך הנוסחא האחרונה ונקבל:

$$W = UQ = UIt$$

אנו רואים, כי האנרגיה החשמלית, המושקעת בצרכן, נמצאת ביחס ישר למתח המסופק לצרכן, לעוצמת הזרם הזורם דרכו ולמשך זמן זרימת הזרם.

יחידת האנרגיה החשמלית

כינוי יחידת האנרגיה החשמלית הוא "ז'ו ל" וסימונה [J] .

"ז'ול" אחד היא האנרגיה המושקעת בצרכן, כאשר מתח בשיעור "וולט" אחד מזרים דרכו זרם בעוצמה של אמפר אחד בפרק זמן של שנייה אחת.

נוכל לסכם ולרשום:

$$W = UIt$$

W : האנרגיה ביחידות "ז'ול" [J]

U : המתח ביחידות "וולט" [V]

I : עוצמת הזרם ביחידות "אמפר" [A]

t : הזמן ביחידות "שנייה" [sec]

דוגמא: חשב את האנרגיה, הנצרכת על-ידי צרכן בהיותו מחובר למקור מתח של 12 וולט במשך 10 שניות, אם עוצמת הזרם הזורם דרכו היא 2 אמפר.

$$W = UIt = 12 \times 2 \times 10 = 240J$$

דוגמא: מהי האנרגיה המושקעת, אם מקור מתח של 6 וולט מעביר דרך צרכן מטען של 100 קולון?

$$W = UQ = 6 \times 100 = 600J$$

ההספק החשמלי

ה ה ס פ ק ה ח ש מ ל י, אותו נוהגים לסמן באות (P) , מבטא את האנרגיה, המושקעת בצרכן ביחידת זמן. במילים אחרות ניתן לומר, כי הספק-חשמלי הוא האנרגיה הנצרכת על-ידי הצרכן ביחידת זמן. נוכל לרשום:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$$

אנו רואים, כי ההספק החשמלי, הנצרך על-ידי צרכן שווה למכפלת המתח, המסופק לצרכן, בעוצמת הזרם, הזורם דרכו.

כינויה של יחידת ההספק החשמלי הוא "ו ט" וסימונה [W] .

"וט" אחד הוא ההספק, המושקע בצרכן, כאשר מתח בשיעור "וולט" אחד מזרים דרכו עוצמת זרם בשיעור "אמפר" אחד.

נוכל, אם כן, לסכם ולרשום את הנוסחא היסודית לחישוב ההספק:

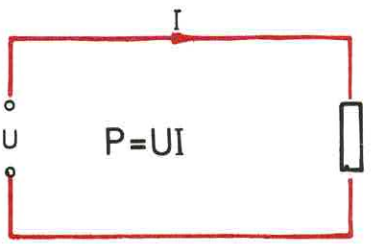
$$\boxed{P = UI}$$

P : ההספק ביחידות "וט" [W]

U : המתח ביחידות "וולט" [V]

I : עוצמת הזרם ביחידות "אמפר" [A]

ננהג להשתמש בנוסחא זו במיקרים, בהם נצטרך לחשב את ההספק, הנצרך על-ידי צרכן, כאשר ידועים המתח המסופק לצרכן ועוצמת הזרם, הזורם דרכו (ציור ו' 1).



הדקיו של מקור מתח
או הדקי מתח ברשת.

ציור ו' 1

דוגמא: צרכן ניזון ממקור מתח של 24 וולט. חשב את ההספק המושקע בצרכן, אם עוצמת הזרם הזורם דרכו היא 0.5 אמפר.

$$P = UI = 24 \times 0.5 = 12\ W$$

היחידה "וט" היא יחידה קטנה יחסית ומקובל מאד להשתמש ביחידה גדולה יותר, הקרויה "ק י ל ו ו ט" וסימונה [KW].

$$1KW = 1000W$$

דוגמא: מתח בשיעור 220 וולט מזרים דרך תנור חשמלי זרם שעוצמתו 10 אמפר. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי התנור, ביחידות וט וקילווט.

$$P = UI = 220 \times 10 = 2200W = 2.2\ KW$$

על-ידי שינוי נושא הנוסחא נוכל להפיק מהנוסחא $P = UI$ שתי נוסחאות נוספות, ובאמצעותן נחשב: את המתח המסופק לצרכן, כאשר ידועים ההספק המושקע ועוצמת הזרם, הזורם דרך הצרכן, או את עוצמת הזרם, הזורם דרך הצרכן, כאשר ידועים ההספק המושקע והמתח, אליו מחובר הצרכן.

$$\boxed{U = \frac{P}{I}} \qquad \boxed{I = \frac{P}{U}}$$

דוגמא: מהו המתח אליו מחובר צרכן, אם הוא צורך הספק של 440 וט, כאשר עוצמת הזרם, הזורם דרכו, היא 2 אמפר?

$$U = \frac{P}{I} = \frac{440}{2} = 220V$$

דוגמא: מהי עוצמת הזרם, הזורם דרך מכשיר חשמלי, אם הוא צורך הספק של 1.32 קילווט בהיותו מחובר למתח של 220 וולט?

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1320}{220} = 6A$$

על גבי צרכנים חשמליים רשומים על-פי-רוב שני נתונים, והם: המתח, אליו מיועד הצרכן, וההספק, הנצרך על-ידי הצרכן במתח זה. על גבי אגס הזכוכית של נורות, לשימוש ביתי, מודפסים נתונים אלה, וכמו כן על גבי לוחיות הזיהוי של מכשירים חשמליים שונים, כגון: מגהצים, קומקומים, תנורים וכו׳.

נתונים אלה חשובים לזיהוי המכשיר, ובאמצעותם ניתן להסיק מסקנות באשר לפעולת המכשיר.

נניח, שמכשיר מסוים מיועד למתח של 220 וולט. אין לחבר מכשיר זה למתח גבוה יותר כדי למנוע צריכת הספק גדולה יותר, אשר עלולה לגרום נזק למכשיר. לעומת זאת, אם נחבר את המכשיר למתח נמוך יותר, הוא יצרוך הספק נמוך מזה, שאליו הוא מיועד, וכתוצאה מכך לא יפעל כראוי.

ניקח לדוגמא נורה חשמלית, שהספקה 100 וט, המיועדת למתח של 220 וולט. אם נחברה למתח גבוה קצת מ-220 וולט, יעלה ההספק הנצרך במעט, היא תאיר חזק יותר, אך אורך החיים שלה יהיה קצר יותר. לו חיברנוה למתח גבוה עוד יותר, היה ההספק הנצרך על-ידה גדל עוד יותר, והיא הייתה נשרפת. נובע מזה, שצרכנים, אשר יוצרו בארצות הברית, אין לחבר לרשת שלנו, הואיל והם תוכננו ומיועדים לפעול במתח בשיעור 110 וולט.

ההספק הרשום על גבי מכשיר חשמלי נותן לנו מושג על פעולתו.

למשל: ככל שהספקה של נורה גבוה יותר היא תאיר חזק יותר, וככל שהספקו של תנור גבוה יותר, הוא יחמם יותר.

נתוני ההספק והמתח מאפשרים לנו לחשב את עוצמת הזרם, אותו צורך המכשיר וכמו כן את התנגדותו.

דוגמא: על גבי לוחית הזיהוי של מגהץ חשמלי רשום: 220V / 880W .
חשב את עוצמת הזרם, שצורך המגהץ ואת התנגדות גוף החימום.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{880}{220} = 4A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{4} = 55\Omega$$

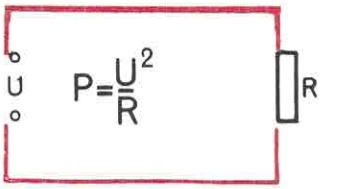
מתוך הנוסחא $P = UI$, ובעזרת חוק "אום", ניתן להפיק שתי נוסחאות נוספות בעלות חשיבות רבה, שבאמצעותן נוח לחשב את הספקו של צרכן, כאשר ידועים המתח המסופק לו והתנגדותו, או כאשר ידועים עוצמת הזרם הזורם דרכו והתנגדותו.

נציב בנוסחא $P = UI$ את הביטוי $I=U/R$ ונקבל:

$$P = UI = U\frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

קבלנו נוסחא שבאמצעותה נחשב את הספקו של צרכן, כאשר ידועים המתח המסופק לו והתנגדותו (ציור ו'2)

$$\boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$



ציור ו'2

אנו רואים, שההספק של צרכן נמצא ביחס ישר לריבוע המתח. זאת אומרת: שאם נגדיל כפליים את המתח המסופק לצרכן, יגדל ההספק הנצרך על-ידי הצרכן פי ארבעה.

דוגמא: חשב בשתי דרכים את ההספק הנצרך על-ידי צרכן, שהתנגדותו 100 אום, כאשר מחברים אותו למתח של 220 וולט.

דרך א': $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{100} = 2.2A$

$P = UI = 220 \times 2.2 = 484W$

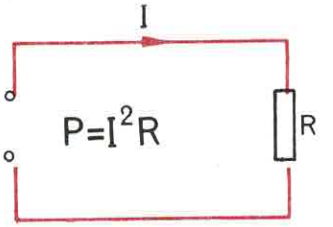
דרך ב': $P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{100} = \frac{48400}{100} = 484W$

נציב עתה בנוסחא $P = UI$ את הביטוי $U = IR$ ונקבל:

$$P = UI = IRI = I^2R$$

קבלנו נוסחא שבאמצעותה נחשב את הספקו של צרכן, כאשר ידועים עוצמת הזרם, הזורם דרכו, והתנגדותו (ציור ו'3).

$$P = I^2R$$



ציור ו׳3

אנו רואים, שההספק של צרכן נמצא ביחס ישר לריבוע **עוצמת** הזרם. זאת אומרת: אם נגדיל כפליים את **עוצמת** הזרם, הזורם דרך צרכן, יגדל ההספק הנצרך על-ידו פי ארבעה.

דוגמא: דרך מכשיר חשמלי, שהתנגדותו 50 אום, זורם זרם בעוצמה של 10 אמפר. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי המכשיר, בשתי דרכים:

דרך א׳: $U = IR = 10 \times 50 = 500V$

$P = UI = 500 \times 10 = 5000W = 5KW$

דרך ב׳: $P = I^2R = 10^2 \times 50 = 100 \times 50 = 5000W = 5KW$

כפי שראינו בפרק ב׳, אחת מתופעות הזרם החשמלי, היא תופעת החימום, המנוצלת למטרת הסקה ותאורה. בכל מקרה של זרימת זרם חשמלי דרך מוליך, בעל התנגדות, נוצר חום גם אם איננו מעוניינים בכך.

ברור, אם כן, שזרם חשמלי, הזורם דרך קווים, גורם לפליטת חום אותו לא ניתן לנצל, ומסיבה זו נגרמים הפסדי אנרגיה.

ניתן לחשב את ההספק, ההולך לאיבוד בקווים, באמצעות הנוסחא $P = I^2R$, ואם נרצה לדעת מה הם הפסדי האנרגיה (W), במשך הזמן (t), עלינו לכפול את ההספק (P) בזמן (t), או במילים אחרות להשתמש בנוסחא:

$$W = I^2Rt$$

דוגמא: התנגדותו של קו היא 5 אום, והזרם הזורם דרכו 2 אמפר. חשב את ההספק, המתבזבז בקו, ואת האנרגיה, שאנו מאבדים בקו זה, במשך שעה אחת.

$$P = I^2R = 2^2 \times 5 = 4 \times 5 = 20W$$

$$W = Pt = 20 \times 3600 = 72000J$$

על-ידי שינוי נושא הנוסחא, ניתן להפיק מהנוסחאות $P = \frac{U^2}{R}$ ו- $P = I^2R$ נוסחאות מישניות, שבאמצעותן ניתן לחשב את המתח או את עוצמת הזרם או את ההתנגדות, כאשר נתונים האחרים:

$$\boxed{R = \frac{P}{I^2}} \qquad \boxed{R = \frac{U^2}{P}} \qquad \boxed{I = \sqrt{\frac{P}{R}}} \qquad \boxed{U = \sqrt{PR}}$$

אין, כמובן, צורך לזכור נוסחאות אלה, הואיל וקל מאד להפיקן, אם זוכרים את הנוסחא היסודית, לחישוב ההספק, $P = UI$ ואת חוק אום $I = \frac{U}{R}$.

נביא עתה דוגמאות לכך ונפיק את הנוסחאות הדרושות.

דוגמא: לאיזה מתח מיועד צרכן, המתכונן להספק של 500 וט, אם התנגדותו 20 אום?

ברור, שעלינו להפיק נוסחא שתכלול את הגורמים P,U,R. נרשום תחילה את הנוסחא היסודית לחישוב ההספק $P = UI$. עלינו להציב עתה $I = U/R$, הואיל ועוצמת הזרם (I) אינה ידועה לנו.

$$P = UI = U\frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

נשנה את נושא הנוסחא ונקבל: $U^2 = PR$

לכן: $U = \sqrt{PR}$

נותר לנו להציב את הנתונים:

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{500 \times 20} = \sqrt{10000} = 100V$$

דוגמא: מהי עוצמת הזרם, הזורם דרך צרכן, הצורך הספק של 4 קילווט, אם התנגדותו 10 אום?

$$P = UI = IRI = I^2R$$

$$I^2 = \frac{P}{R} \quad ; \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

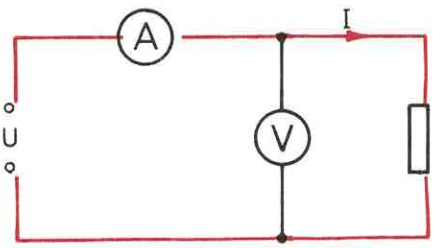
נציב את הנתונים בתוך הנוסחא שקיבלנו:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4000}{10}} = \sqrt{400} = 20A$$

מדידת הספק באמצעות וולטמטר ואמפרמטר

ראינו, שהנוסחא היסודית לחישוב ההספק היא $P = UI$, הווה אומר: כדי לדעת מהו ההספק הנצרך על-ידי הצרכן, עלינו לדעת תחילה מהו המתח המסופק לצרכן ומהי עוצמת הזרם הזורם דרכו.

המסקנה הנובעת מכך היא שניתן למדוד את ההספק, הנצרך על-ידי צרכן, באמצעות וולטמטר ואמפרמטר (ציור ו'4).



ציור ו'4

רושמים לשם כך את הקריאות של הוולטמטר והאמפרמטר וכופלים אותן זו בזו.

דוגמא: לשם מדידת ההספק, הנצרך על-ידי צרכן, מחברים במעגל הצרכן וולטמטר ואמפרמטר כמתואר בציור ו'4.
מהו ההספק, הנצרך על-ידי הצרכן, אם הוולטמטר מורה 220 וולט, והאמפרמטר מורה 1.5 אמפר?

$$P = UI = 220 \times 1.5 = 330W$$

ניתן כמו כן למדוד הספק חשמלי, בצורה ישירה, באמצעות מכשיר מדידה הקרוי "ו ט מ ט ר" או מד-הספק. אנו נדון בפעולתו ובאופן חבורו במעגל חשמלי, בפרק מיוחד, המיועד למכשירי מדידה.

חישוב האנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכן

קל מאד לחשב את האנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכן, במשך זמן (t) , כאשר ידוע הספקו של הצרכן.

ראינו, שהאנרגיה החשמלית מבוטאת על-ידי הנוסחא $W = UIt$.

אם נציב בנוסחא זו את הביטוי $UI = P$, נקבל:

$$\boxed{W = Pt}$$

W : האנרגיה ביחידות "ז'ול" [J]

P : ההספק ביחידות "וט" [W]

t : הזמן ביחידות "שניה" [sec]

משמעות הנוסחא היא, שהאנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכן, שווה להספק הצרכן כפול משך זמן פעולתו.

דוגמא: חשב את האנרגיה, שצורכת נורה חשמלית, שהספקה 100 וט, בהיותה מופעלת במשך 10 שעות.

10 שעות = 36000 שניות

לכן: $W = Pt = 100 \times 36000 = 3600000J$

היחידה "ז'ול", או כפי שנוהגים גם לכנותה "ו ט - ש נ י ו ת" [Wsec] , היא יחידה קטנה מאד, ומסיבה זו נוהגים להשתמש ביחידה טכנית גדולה יותר הקרויה "ק י ל ו ו ט - ש ע ה", שסימונה המוסכם הוא [KWh] .

ברור, שאם ברצוננו לחשב את האנרגיה [W] ביחידות [KWh] , עלינו להציב את ההספק ביחידות "קילווט" [KW] ואת הזמן בשעות [h] .

אם נחשב מחדש את החישוב שבדוגמא האחרונה באמצעות היחידות החדשות נקבל:

$$100W = 0.1KW$$

$$W = Pt = 0.1 \times 10 = 1KWh$$

דוגמא: מגהץ חשמלי, שהספקו 600 וט, מחובר לרשת במשך חצי שעה.
חשב את האנרגיה החשמלית, שצרך המגהץ.

$$W = Pt = 0.6 \times 0.5 = 0.3KWh$$

דוגמא: תנור חשמלי, שהספקו 2 קילווט, חובר לרשת למשך 3 שעות.
חשב את האנרגיה החשמלית, שצרך התנור.

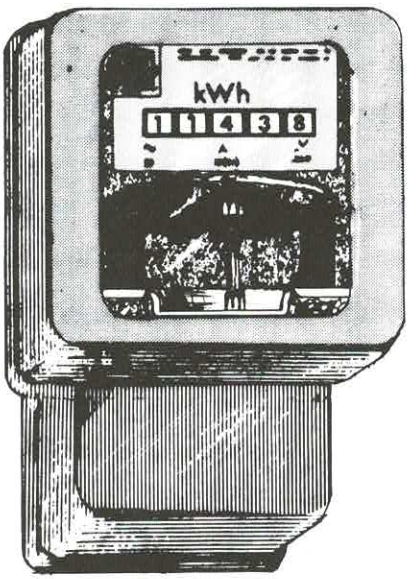
$$W = Pt = 2 \times 3 = 6KWh$$

מחיר האנרגיה החשמלית

האנרגיה החשמלית, המנרצלת למטרות תאורה, הסקה, הפעלת מכשירים שונים והנעת מכונות חשמליות מסופקת לצרכנים על-ידי חברת החשמל באמצעות הרשת הארצית.

האנרגיה החשמלית, אשר נצרכה על-ידי הצרכן, נמדדת באמצעות מ ו נ ה - ח ש מ ל י (ציור ו׳5), המותקן בדירתו של כל צרכן, בין הרשת לבין המעגלים המותקנים בדירה.

חברת החשמל קובעת מחיר לכל קילווט-שעה ומחייבת את צרכניה בתשלום בהתאם לצריכה, שנרשמה במונה החשמלי.



ציור ו׳5

דוגמא: מכשיר טלויזיה, שהספקו 200 וט, פועל בממוצע 3 שעות ליום.
מה מחיר האנרגיה, שצורך המכשיר במשך חודש ימים אם מחיר כל קילווט-שעה הוא 7 אג׳? (לוקחים בחשבון 30 יום בחודש).

האנרגיה: $W = Pt = 0.2 \times 3 \times 30 = 18KWh$

ומחיר האנרגיה: $18 \times 7 =$ אג׳ 126 = 1.26 ל"י

דוגמא: המונה החשמלי בדירת מגורים מציין, כי במשך תקופה של חודשיים נצרכה אנרגיה של 700 קילווט-שעה.

מהו התחשיב הכספי הדו-חודשי, אם מחיר כל קילווט-שעה הוא 6 אג׳?

$$700 \times 0.06 = \text{42 ל"י}$$

בפרק הבא נדון בנושא זה ביתר העמקה, לאחר שנכיר את אופן החיבור של צרכנים רבים לרשת, ונראה, כיצד מחשבים את האנרגיה הכוללת.

שאלות סיכום ובעיות לפרק ו

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות, המצויות בסוף הספר, כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ו׳1) אנרגיה חשמלית היא:

א) היכולת לעשות עבודה חשמלית.
ב) העבודה החשמלית המתבצעת ביחידת זמן.
ג) מכפלת העבודה החשמלית בזמן.
ד) מכפלת עוצמת הזרם החשמלי בזמן.

ו׳2) האנרגיה החשמלית נמצאת:

א) ביחס ישר למתח וביחס הפוך למטען.
ב) ביחס ישר למטען וביחס הפוך למתח.
ג) ביחס ישר למתח וביחס ישר למטען.
ד) ביחס הפוך למתח וביחס הפוך למטען.

ו'3) הנוסחא הנכונה לחישוב אנרגיה חשמלית היא:

א) $W = UIt$

ב) $W = \frac{UI}{t}$

ג) $W = \frac{U}{It}$

ד) $W = \frac{I}{Ut}$

ו'4) יחידות האנרגיה החשמלית הן:

א) ז'ול, קולון.

ב) קולון, קילווט-שעה.

ג) ז'ול, וט.

ד) ז'ול, קילווט-שעה.

ו'5) הספק חשמלי הוא:

א) היכולת לעשות עבודה חשמלית.

ב) האנרגיה המושקעת ביחידת זמן.

ג) מכפלת האנרגיה בזמן.

ד) מכפלת המתח במטען.

ו'6) ההספק החשמלי שוה ל-:

א) מספר הקולונים, העוברים דרך מוליך ביחידת זמן.

ב) מנת ההתנגדות במתח.

ג) מכפלת הזרם בהתנגדות.

ד) מכפלת הזרם במתח.

ו'7) יחידות הספק מקובלות הן:

א) ז'ול, וט.

ב) וט, קילווט.

ג) קילווט, קילווט-שעה.

ד) ז'ול, קילווט.

ו'8) על לחית הזיהוי של מכשירי חימום חשמליים נתונים על פי רוב:

א) ההספק והאנרגיה.

ב) הזרם וההתנגדות.

ג) המתח וההספק.

ד) המתח והזרם.

ו'9) לחישוב האנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכן:

א) מחלקים את הספקו בזמן פעולתו.

ב) כופלים את הספקו בזמן פעולתו.

ג) כופלים מתח בזרם.

ד) כופלים מתח בזרם ומחלקים בזמן.

ו'10) **בנורת להט, המיועדת למתח 220 וולט:**

א) ככל שהספקה גדול יותר, התנגדותה נמוכה יותר.

ב) ככל שהספקה גדול יותר, התנגדותה גבוהה יותר.

ג) אין קשר בין הספק הנורה להתנגדות.

ד) אף תשובה אחת מהנזכרות למעלה אינה נכונה.

ו'11) **עקב קילקול בכיריים חשמליים קיצצו חלק מהתייל של גוף החימום. כתוצאה מכך:**

א) הספק הכיריים גדל.

ב) הספק הכיריים קטן.

ג) ההספק לא השתנה.

ד) ההספק גדל תחילה, אך לאחר החימום חזר לערכו המקורי.

ו'12) **אם נגדיל את המתח פי שניים:**

א) יגדל ההספק פי 2 .

ב) יגדל ההספק פי $\sqrt{2}$.

ג) יגדל ההספק פי 4 .

ד) יקטן ההספק פי 2 .

ו'13) **אם נקטין את המתח פי שניים:**

א) יקטן ההספק פי 2 .

ב) יקטן ההספק פי $\sqrt{2}$.

ג) יקטן ההספק פי 4 .

ד) יגדל ההספק פי 4 .

ו'14) **אם נגדיל את המתח פי שניים ואת ההתנגדות פי שניים:**

א) הספק הצרכן לא ישתנה.

ב) הספק הצרכן יקטן פי שניים.

ג) הספק הצרכן יגדל פי ארבעה.

ד) הספק הצרכן יגדל פי שניים.

ו'15) **אם מגדילים פי שניים את עוצמת הזרם הזורם דרך צרכן:**

א) הספק הצרכן יגדל פי שניים.

ב) הספק הצרכן יגדל פי ארבעה.

ג) הספק הצרכן יקטן פי שניים.

ד) הספק הצרכן יקטן פי ארבעה.

ו'16) הפסדי ההספק בקווים נמצאים:

א) ביחס ישר לעוצמת הזרם.
ב) ביחס ישר לריבוע עוצמת הזרם.
ג) ביחס הפוך לעוצמת הזרם.
ד) ביחס הפוך לריבוע עוצמת הזרם.

ו'17) מקטינים את התנגדות הקו פי שניים ומגדילים את עוצמת הזרם הזורם דרכו פי שניים. ההספק ההולך לאבוד בקו:

א) יגדל פי שניים.
ב) יגדל פי ארבעה.
ג) לא ישתנה.
ד) יקטן פי שניים.

ו'18) לחישוב הפסדי ההספק בקווים, משתמשים בנוסחא:

א) $P = I^2R$
ב) $P = UI$
ג) $P = \frac{U^2}{R}$
ד) $P = I^2U$

ו'19) האנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכנים, נמדדת באמצעות:

א) אמפרמטר וולטמטר.
ב) מונה חשמלי.
ג) אמפרמטר וולטמטר ומונה חשמלי.
ד) אין מודדים את האנרגיה החשמלית, אלא מחשבים אותה.

ו'20) למציאת הספקו של צרכן, בלתי מוכר, מחברים אותו למקור מתח ומחברים במעגל וולטמטר ואמפרמטר. הנוסחא המתאימה לחישוב ההספק, במקרה זה היא:

א) $P = I^2R$
ב) $P = \frac{U^2}{R}$
ג) $P = I^2U^2$
ד) $P = UI$

ו׳1) בין הדקיו של נגד שורר מתח של 24 וולט. חשב את האנרגיה, שהושקעה על-ידי המקור, אם דרך הנגד עבר מטען חשמלי של 50 קולון.

ו׳2) כדי להעביר, דרך צרכן, מטען של 50 קולון, משקיעים אנרגיה של 300 ז׳ול. מהו המתח, השורר בין הדקי הצרכן?

ו׳3) נגד צורך אנרגיה של 720 ז׳ול במתח של 12 וולט. מהו המטען החשמלי, שעבר דרך הנגד?

ו׳4) צרכן המחובר לרשת 220 וולט, במשך 10 דקות, צורך זרם שעוצמתו 2 אמפר. חשב את האנרגיה המושקעת בז׳ולים.

ו׳5) מנוע חשמלי צורך זרם, שעוצמתו 2 אמפר, בהיותו מחובר למתח של 24 וולט. חשב את הספק המנוע.

ו׳6) נורית של פנס כיס צורכת זרם בעוצמה של 300 מיליאמפר בהיותה מחוברת לסוללה של 6 וולט. חשב את ההספק המושקע בנורית.

ו׳7) מכשיר אלקטרוני צורך זרם, שעוצמתו 100 מיליאמפר, במתח 350 וולט. חשב את הספק המכשיר.

ו׳8) מלחם חשמלי צורך זרם, שעוצמתו 0.5 אמפר, במתח 110 וולט. חשב את ההספק של המלחם.

ו׳9) מנוע חשמלי, המוזן במתח 240 וולט, צורך זרם בעוצמה של 65 אמפר. חשב את הספק המנוע ביחידות וט וקילווט.

ו׳10) מהי עוצמת הזרם, שצורכת נורה, עליה רשום 36W ; 12V ?

ו׳11) הספקו של דוד חשמלי 2200 וט. חשב את צריכת הזרם, אם הדוד מופעל במתח 220 וולט.

ו׳12) מחולל (גנרטור) מספק, לצרכן מסויים, הספק של 10 קילווט במתח 100 וולט.
חשב את עוצמת הזרם.

ו׳13) הספקו של צרכן 1.1 קילווט. חשב את עוצמת הזרם, בהיות הצרכן מחובר לרשת 110 וולט.

ו׳14) צרכן מתוכנן לצרוך זרם בעוצמה של 2 אמפר, במתח של 220 וולט. חשב את התנגדותו ואת הספקו.

ו׳15) תנור חשמלי, שהספקו 3 קילווט, ניזון ממקור מתח של 220 וולט. חשב את צריכת הזרם ואת התנגדות גוף החימום.

ו׳16) התנגדות הנימה של נורת להט במצב חם היא 400Ω, ועוצמת הזרם במצב זה היא 0.5A . חשב את המתח ממנו ניזונה הנורה, ואת ההספק שהיא צורכת.

ו׳17) מערבל חשמלי, הפועל במתח 220 וולט, צורך זרם בעוצמה של 1.5 אמפר.
חשב את ההספק, הנצרך על-ידי המערבל.

ו׳18) נגד, שהתנגדותו 1 קילואום, צורך זרם שעוצמתו 2 מיליאמפר. חשב את המתח השורר בין הדקי הנגד ואת ההספק הנצרך.

ו׳19) על גבי אגס הזכוכית של נורת ליבון מודפס: 220V/100W חשב את צריכת הזרם ואת התנגדות הנימה במצב חם.

ו׳20) סליל של אלקטרומגנט, הפועל במתח 200 וולט, הוא בעל התנגדות של 250 אום.
חשב את ההספק הנצרך על-ידו.

ו׳21) מהם הפסדי ההספק בנגד, שהתנגדותו 120 אום, בהיותו מחובר למתח 24 וולט?

ו׳22) נורה, שהספקה 200 וט, מחוברת למתח 220 וולט. חשב את התנגדות הנימה במצב חם.

ו'23) מהי התנגדות גוף החימום של מגהץ, במצב חם, אם על לוחית הזיהוי שלו רשום: 220V/1000W ?

ו'24) על גבי נורת להט רשום 220V/40W . חשב את התנגדות הנימה במצב חם ואת עוצמת הזרם שהיא צורכת.

ו'25) נורה בעלת הספק 100 וט, המיועדת למתח 220 וולט, חוברה בטעות למתח 110 וולט. מהו ההספק הנצרך במקרה זה?
הדרכה: חשב תחילה את ההתנגדות.

ו'26) מלחם חשמלי, שהספקו 150 וט, פועל במתח 210 וולט.
א) חשב את התנגדות גוף החימום במצב עבודה.
ב) בכמה אחוזים יקטן ההספק, אם המתח יקטן ב-30 אחוזים?
הדרכה: לחישוב ההספק, לאחר שינוי המתח, הצב בנוסחא (0.7U) .

ו'27) חשב את התנגדות גוף החימום של תנור חשמלי, שהספקו 2KW , במתח 220 וולט. מה יהיה ההספק, אם המתח ירד ב-10%?

ו'28) הנתונים של כירה חשמלית הם 220V/440W . בזמן תיקון הכירה קיצרו את אורך התיל של גוף החימום ב-10 אחוזים. חשב את ההספק החדש של הכירה.

ו'29) גוף החימום של מגהץ הוא בעל נתונים 220V/440W . גוף החימום עשוי תיל כרום-ניקל בעל חתך מלבני 1×0.2 מ"מ.
חשב את אורך התייל, אם ההתנגדות הסגולית של כרום-ניקל בטמפרטורת העבודה היא $\rho = 2\ \Omega\times mm^2/m$.

ו'30) מתכננים גוף חימום בעל הספק 1000 וט, המיועד למתח 220 וולט. משתמשים לשם כך בתיל כרום-ניקל בעל שטח חתך של 0.3 ממ"ר. חשב את אורך התייל, אם ההתנגדות הסגולית של כרום-ניקל בטמפרטורת העבודה היא $\rho = 2\ \Omega\times mm^2/m$.

ו'31) סליל מלופף 100 כריכות תיל מנגנין. האורך הממוצע של כל כריכה הוא 10 ס"מ. הסליל צורך הספק של 2 וט בהיותו מחובר למתח של 6 וולט. חשב את שטח החתך

של התייל.

הדרכה: למציאת ההתנגדות הסגולית של מנגנין היעזר בטבלה שבעמוד 63.

ו'32) **ההתנגדות של נימת הטונגסטן של נורת להט בטמפרטורה 20°C היא 80 אום.**
חשב את טמפרטורת הנימה בזמן העבודה, אם הספקה במתח 220 וולט הוא 60 וט.
הדרכה: חשב תחילה את התנגדות הנימה בזמן העבודה.

ו'33) **לאיזה מתח מירבי מותר לחבר צרכן, שהתנגדותו 50 אום, אם הספק העבודה הוא 0.2 KW.**

ו'34) **מה הספקו של גוף חימום, העשוי תיל כרום-ניקל, שאורכו 10 מטר ושטח החתך שלו 0.2 ממ"ר בהיותו מחובר למתח 250 וולט? טמפרטורת העבודה היא 520°C .**
הדרכה: חשב תחילה את ההתנגדות בטמפרטורה 520°C .

ו'35) התנגדות גוף החימום של מגהץ היא 100 אום, ועוצמת הזרם הזורם דרכו 2.2 אמפר. חשב:
א) את הספקו של המגהץ.
ב) את המתח, אליו מחובר המגהץ.

ו'36) מה יהיו הפסדי ההספק בתייל נחושת באורך 1000 מטר ושטח חתך 2 ממ"ר, אם נזרים דרכו זרם בעוצמה של 5 אמפר?

ו'37) זרם בעוצמה של 10 מיליאמפר זורם דרך נגד שהתנגדותו 2 קילואום. חשב את ההספק, ההולך לאיבוד בנגד.

ו'38) סליל מלופף תיל נחושת באורך 200 מטר ושטח חתך של 0.5 ממ"ר. חשב את ההספק המושקע בסליל, אם הזרם הזורם דרכו הוא בעוצמה של 0.5 אמפר.

ו'39) חשב את הפסדי ההספק בקו נחושת, שאורכו 2 ק"מ ושטח החתך שלו 6 ממ"ר, בשני מקרים:
א) כאשר הזרם בקו הוא בעוצמה של 1 אמפר.
ב) כאשר הזרם בקו הוא בעוצמה של 2 אמפר.

ו'40) חשב את ההתנגדות של גוף החימום של כירה חשמלית, במצב עבודה, אם ההספק הנצרך, בזרם שעוצמתו 10 אמפר, הוא 1200 וט.

ו'41) חשב את התנגדותו של קו חשמלי, אם ידוע, שבזרם בעל עוצמה של 100 אמפר הפסדי ההספק הם בשעור של 1000 וט.

ו'42) הפסדי ההספק בקו נחושת, בעל שטח חתך של 36 ממ"ר, הם בשעור 576 וט בזרם שעוצמתו 24 אמפר. חשב את אורך הקו.

ו'43) מהי עוצמת הזרם הזורם דרך צרכן שהתנגדותו 20 אום, אם הספק העבודה של הצרכן הוא 2KW ?

ו'44) חשב את תצרוכת האנרגיה החשמלית החודשית של תנור חשמלי, שהספקו 1KW , אם הוא פועל בממוצע 2 שעות ליום.

ו'45) נורה, שהספקה 75 וט, דולקת 5 שעות בכל ערב. מהי התצרוכת החודשית בקילווט-שעות.

ו'46) מצבר במתח 12 וולט מספק לצרכן זרם שעוצמתו 10 אמפר במשך 8 שעות. חשב את האנרגיה המושקעת.

ו'47) במשך כמה שעות תיפעל נורה שהספקה 75 וט כדי לצרוך אנרגיה של 1 קילווט-שעה.

ו'48) צרכן חובר למתח 220 וולט במשך 48 שעות. לאחר תקופה זו הראה המונה החשמלי, כי האנרגיה, שנצרכה הייתה 20 קילווט-שעות. חשב את התנגדות הצרכן.
הדרכה: עליך להציב בנוסחא את האנרגיה ביחידות וט-שעות.

1KWh = 1000Wh

ו'49) אנרגיה של 45 קילווט-שעות הושקעה בצרכן, הצורך זרם בעוצמה של 10 אמפר, במשך 15 שעות. חשב את מתח המקור.

ו׳50) כדי למדוד את הספקו של צרכן חוברו במעגל וולטמטר, המורה 220 וולט, ואמפרמטר, המורה 10 אמפר. מה האנרגיה, שנצרכה על-ידי הצרכן במשך 3 שעות?

ו׳51) התצרוכת הדו-חודשית של צרכן ביתי היא 500 קילווט-שעות. מהו החיוב הדו-חודשי של חברת החשמל, אם מחיר כל קילווט-שעה הוא 8 אג׳?

ו׳52) מנוע חשמלי צורך זרם, שעוצמתו 5 אמפר, במתח של 120 וולט. מה המחיר ל-10 שעות שימוש במנוע זה, אם המחיר לקילווט-שעה הוא 8 אג׳?

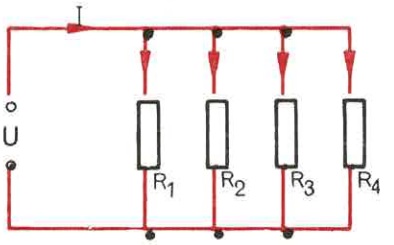
ו׳53) הספקו של מקרר חשמלי הוא 350 וט. המקרר פועל בממוצע במשך 8 ש׳ ביממה. חשב את מחיר השימוש הדו חודשי במקרר זה, אם המחיר לקילווט-שעה הוא 8 אג׳.

ו׳54) על גבי נורת להט רשום 115V/100W . חשב את עוצמת הזרם, שצורכת הנורה, ואת מחיר האנרגיה, המושקעת בנורה, במשך 200 שעות פעולה, אם המחיר לקילווט-שעה הוא 8 אג׳?

פרק ז - חיבור מקבילי של צרכנים

חיבור מקבילי מהו?

בחיבור מקבילי, מחובר כל אחד מהנגדים או הצרכנים בין הדקיו של מקור המתח, בך שצד אחד של כל צרכן מחובר לאחד ההדקים של מקור המתח, והצד השני של כל צרכן מחובר לצד השני של מקור המתח (ציור ז' 1).

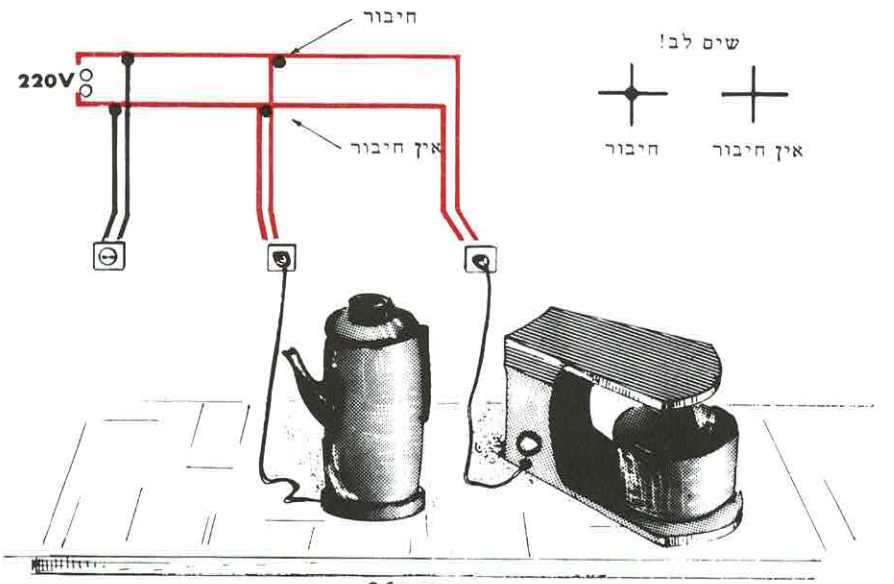


ציור ז' 1

אם נתבונן בציור, נראה, כי כל הצרכנים R_1 ; R_2 ; R_3 ; R_4 ניזונים מאותו מתח (U), ולזרם (I) יהיו מספר מעברים, אשר כל אחד מהם קרוי ע נ ף. למעגל שבציור ז' 1, 4 ענפים.

הצרכנים הניזונים מהרשת הארצית מחוברים לרשת בחיבור מקבילי, כדי שכל אחד מהם יהיה ניזון ממתח 220 וולט.

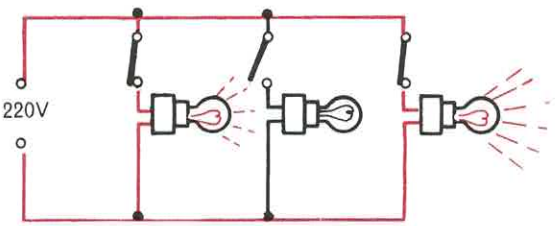
כל אחד מהצרכנים שבביתך מחובר לרשת בחיבור מקבילי (ציור ז' 2).



ציור ז' 2

כל הצרכנים, המחוברים בחיבור מקבילי, חייבים להיות מתוכננים לפעול במתח מסויים בהיותם מחוברים כולם לאותו מתח.

אם נחבר לרשת צרכן, המיועד למתח גבוה יותר, הוא לא יפעל כראוי, ואם נחבר לרשת צרכן, המיועד למתח נמוך יותר, יישרף.



ציור ז'3

חיבור מקבילי מאפשר חיבור כל צרכן בנפרד, והצרכנים אינם תלויים זה בזה. ניתן, כמו כן, לחבר כל צרכן או לנתקו באמצעות מפסקים (ציור ז'3).

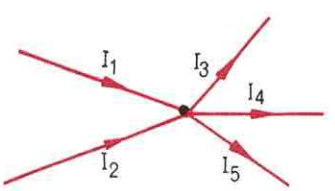
חוק הזרמים לקירכהוף (חוק הצומת)

קירכהוף קבע את אחד החוקים היסודיים בתורת החשמל. חוק זה קובע כי:

<u>סכום הזרמים הנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים היוצאים ממנה.</u>

בציור ז'4 ניתן לראות, כי הזרמים I_1 ו- I_2 נכנסים לצומת (O), והזרמים I_3, I_4 ו- I_5 יוצאים מהצומת. אם נסתמך על חוק קירכהוף נוכל לרשום את משוואת הזרמים לצומת (O).

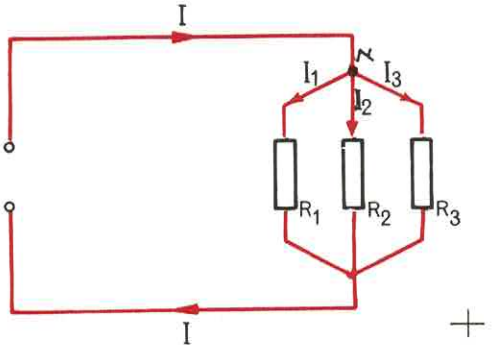
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$



ציור ז'4

נראה עתה, כיצד מתבטא הדבר במעגל של ממש.

בציור ז'5 מופיעה רשת נגדים המחוברים במקביל; ברשת זו שלושה ענפים.

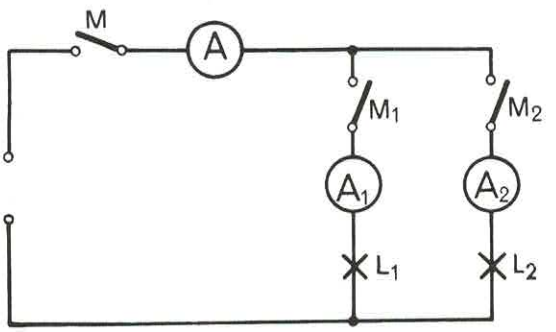


ציור ז׳5

הזרם (I) , המגיע לצומת (א), מתפצל בין שלושת הענפים לשלושה זרמים. דרך הנגד R_1 זורם זרם I_1 , דרך R_2 זורם זרם I_2 , ודרך R_3 זורם זרם I_3 . שלושת הזרמים מתאחדים שוב בצומת (ב) לזרם (I) . מובן, שעוצמת הזרם הנכנס לצומת (א) שווה לעוצמת הזרם היוצא מצומת (ב), הואיל וכל האלקטרונים, העוזבים את אחד ההדקים של מקור המתח, חייבים לחזור אל ההדק השני (ראה פרק ב׳).

אם נתייחס לציור ז׳5, נוכל לרשום את משוואת הזרמים המתייחסת למעגל:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



ציור ז׳6

בציור ז׳6 מופיע מעגל אחר. מעגל מקבילי זה כולל שני ענפים. בכל ענף מצויים מפסק, אמפרמטר ונורה. נוסף לכך מצוי אמפרמטר, המודד את הזרם הכללי, ו מ פ ס ק ר א ש י, אשר מתפקידו להפסיק את זרימת הזרם הכללי.

כל עוד פתוח המפסק (M) , לא ניתן להדליק את הנורות L_1 ו- L_2 .

לאחר סגירת המפסק (M) לא יזרום עדיין זרם במעגל, הואיל והמפסקים (M_1) ו- (M_2) פתוחים.

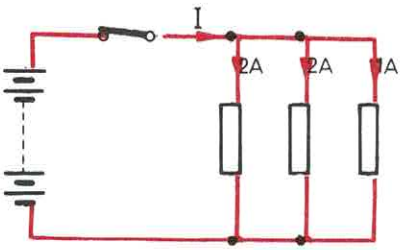
לאחר סגירת המפסק (M_1) יזרום זרם דרך הנורה L_1 , ולאחר סגירת המפסק (M_2) יזרום זרם דרך הנורה L_2 .

האמפרמטר (A_1) יציין את עוצמת הזרם I_1 , שיזרום דרך הנורה L_1 , והאמפרמטר (A_2) יציין את עוצמת הזרם I_2 , שיזרום דרך הנורה L_2 . האמפרמטר (A) יציין את עוצמת הזרם הכללי (I) . נוכל לרשום:

$$I = I_1 + I_2$$

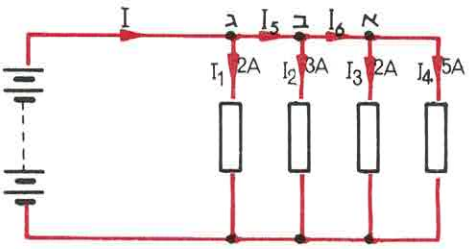
דוגמא: חשב את עוצמת הזרם (I),
הזורם במעגל שבציור ז'7.

$I = I_1+I_2+I_3 = 2+2+1 = 5A$



ציור ז'7

דוגמא: חשב את עוצמות הזרמים
I_6 ; I_5 ; I, המסומנים
בציור ז'8.



ציור ז'8

נרשום תחילה את משוואת הזרמים
לגבי הצומת (א):

$I_6 = I_3 + I_4 = 2 + 5 = 7A$

נרשום עתה את משוואת הזרמים
לגבי הצומת (ב):

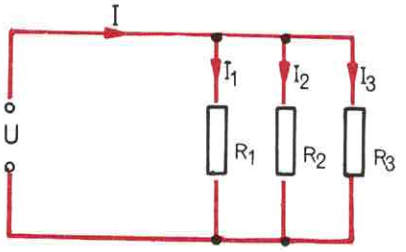
$I_5 = I_2 + I_6 = 3 + 7 = 10A$

ולבסוף נרשום את משוואת הזרמים לגבי הצומת (ג):

$I = I_1 + I_5 = 2 + 10 = 12A$

חישוב עוצמות זרמי ענפים ועוצמת הזרם הכללי

נתבונן בציור ז'9. הואיל וכל
הנגדים שבמעגל מחוברים לאותו המתח
(U), נקבעת חלוקת הזרם (I) בין
הנגדים על ידי ההתנגדויות שלהם,
וזאת בהתאם לחוק אום.



ציור ז'9

עוצמת הזרם I_1, הזורם דרך
הנגד R_1, ישווה, לפי חוק אום,
ל- $I_1 = U/R_1$

עוצמת הזרם I_2 , הזורם דרך הנגד R_2 , ישווה, לפי חוק אום, ל- $I_2 = U/R_2$

עוצמת הזרם I_3 , הזורם דרך הנגד R_3 , ישווה, לפי חוק אום, ל- $I_3 = U/R_3$

את עוצמת הזרם הכללי (I) נחשב באמצעות משוואת הזרמים.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

לכן:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

דוגמא: שני נגדים בעלי התנגדויות $R_2=4\Omega$ $R_1=6\Omega$ מחוברים במקביל למקור מתח $U=12V$. חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך כל נגד ואת הזרם הכללי.

כפי שראינו:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{6} = 2A$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{4} = 3A$$

לכן:

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 3 = 5A$$

כפי שראינו, ברשת בעלת שני נגדים, המחוברים בחיבור מקבילי למקור מתח:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \qquad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

אם נשנה את נושאי הנוסחאות שלמעלה, נקבל:

$$U = I_1R_1 \qquad U = I_2R_2$$

מזה נובע:

$$I_1R_1 = I_2R_2$$

לכן:

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}}$$

ננסח זאת במילים: <u>בענפי מעגל מקבילי מתיחסות עוצמות הזרמים ביחס הפוך להתנגדויות.</u>

דוגמא: שני נגדים R_1 ו- R_2 מחוברים במקביל למקור מתח. התנגדותו של הנגד R_1 גדולה פי שלושה מהתנגדותו של הנגד R_2, ועוצמת הזרם, הזורם דרכו, היא $I_1 = 6A$. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד R_2, ואת עוצמת הזרם הכללי.

הואיל והתנגדותו של הנגד R_2 קטנה פי שלושה מהתנגדותו של הנגד R_1, הרי שעוצמת הזרם דרך R_2 תהיה גדולה פי שלושה מעוצמת הזרם, הזורם דרך R_1; לכן נוכל לרשום:

$$I_2 = 18A$$

והזרם הכללי יהיה: $I = I_1 + I_2 = 6 + 18 = 24A$

ניתן לחשב את עוצמת הזרם I_2 גם בדרך מהמטית:

הנתונים הם: $I_1 = 6A$ $\quad R_1 = 3R_2$

נציב את הנתונים בתוך הנוסחא $I_1/I_2=R_2/R_1$ ונקבל:

$$\frac{6}{I_2} = \frac{R_2}{3R_2}$$

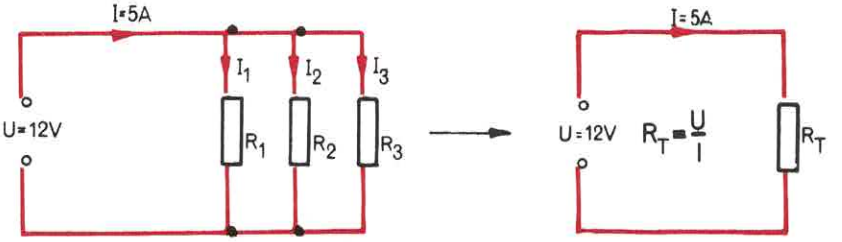
לאחר צימצום והפיכת שני השברים מקבלים $I_2/6 = 3$ ומכאן:

$$I_2 = 18A$$

ההתנגדות השקולה של צרכנים המחוברים במקביל

ההתנגדות השקולה (R_T) של התנגדויות, המחוברות במקביל, היא אותה התנגדות, אשר תגרום לאותו זרם (I) דרך אותו המקור.

במילים אחרות ניתן לומר, כי ההתנגדות השקולה (R_T) היא אותה התנגדות שאם נחברה במעגל, במקום כל ההתנגדויות האחרות, לא ישתנה הזרם הכללי במעגל (ציור ז'10).



ציור ז'10

נפתח נוסחא המתאימה לחישוב ההתנגדות השקולה (R_T) של התנגדויות, המחוברות בחיבור מקבילי.

כפי שראינו, משוואת הזרמים למעגל מקבילי היא:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

ראינו כמו כן, כי: $I_1 = \frac{U}{R_1}$ $\quad I_2 = \frac{U}{R_2}$ $\quad I_3 = \frac{U}{R_3}$

נציב ביטויים אלה בתוך משוואת הזרמים ונקבל:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots$$

נוציא את (U) מחוץ לסוגריים:

$$I = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots\right)$$

ונחלק את שני אגפי המשואה ב- (U):

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

נתבונן שוב בציור ז'10 ונראה, כי $U/I=R_T$, לכן: $I/U = 1/R_T$

נציב ביטוי זה בתוך המשוואה האחרונה ונקבל את הנוסחא הכללית לחישוב ההתנגדות השקולה (R_T) של מספר התנגדויות במקביל:

$$\boxed{\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

במילים נוכל לנסח זאת כך:

<u>הערך ההפוך של ההתנגדות השקולה, של מספר התנגדויות במקביל, שווה לסכום הערכים ההפוכים של ההתנגדויות הבודדות.</u>

אנו רואים, שכדי לחשב את ההתנגדות השקולה של התנגדויות במקביל עלינו לחשב, תחילה, את הערכים ההפוכים של כל אחת מההתנגדויות ולסכם את הערכים ההפוכים כדי לקבל $1/R_T$. לבסוף מחשבים את הערך ההפוך של $1/R_T$ שהוא אינו אלא R_T .

דוגמא: 3 נגדים שערכיהם 12, 6, 4 אום מחוברים במקביל. חשב את ההתנגדות השקולה שלהם.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3+2+1}{12} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$$

מכאן:

$$R_T = \frac{2}{1} = 2\Omega$$

מתוך הדוגמא האחרונה אנו רואים, שההתנגדות השקולה, נמוכה מההתנגדות של הנגד הבודד בעל ההתנגדות הנמוכה ביותר. דבר זה נובע מהעובדה, שכל נגד נוסף המחובר במקביל יוצר מעבר נוסף לזרם.

שתי התנגדויות שונות במקביל

נפתח את הנוסחא לחישוב ההתנגדות השקולה במקרה של שתי התנגדויות R_1 ו- R_2 , המחוברות במקביל:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2+R_1}{R_1R_2}$$

אם נהפוך את הביטויים שבשני צידי סימן השוויון נקבל:

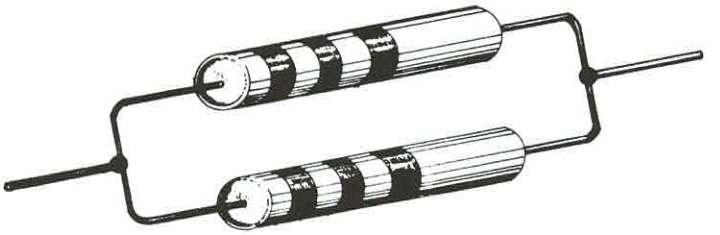
$$\boxed{R_T = \frac{R_1R_2}{R_2+R_1}}$$

<u>ההתנגדות השקולה של שתי התנגדויות שונות R_1 ו- R_2 , המחוברות במקביל, שווה למכפלתן חלקי סכומן.</u>

דוגמא: חשב את ההתנגדות השקולה של שתי התנגדויות $R_1=20\Omega$ ו- $R_2=80\Omega$

$$R_T = \frac{R_1R_2}{R_2+R_1} = \frac{20\times 80}{80+20} = \frac{1600}{100} = 16\Omega$$

לעיתים אנו זקוקים לנגד בעל ערך מסויים, שאינו נמצא ברשותנו. ניתן להשיג את ההתנגדות הדרושה על-ידי חיבור מקבילי של שני נגדים בעלי ערכים אחרים (ציור ז' 11).



ציור ז' 11

דוגמא: אנו זקוקים לנגד, שהתנגדותו 1500 אום, אך אין ברשותנו נגד בעל התנגדות זו. הערך הקרוב ביותר הנמצא ברשותנו, הוא 2000 אום. חשב את ערך הנגד, שיש לחבר במקביל לנגד שהתנגדותו 2000 אום, על מנת שההתנגדות השקולה תהיה 1500 אום.

לפי הנתונים שבדוגמא: $R_1=2000\Omega$ $R_T=1500\Omega$, ואנו מעונינים לחשב את הערך (R_2) .

נשתמש בנוסחא $R_T = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$ ועל ידי שינוי נושא הנוסחא, נבטא את (R_2) .

$$R_T\ (R_1+R_2) = R_1R_2$$

$$R_TR_1 + R_TR_2 = R_1R_2$$

$$R_TR_1 = R_1R_2 - R_TR_2$$

$$R_TR_1 = R_2(R_1-R_T)$$

$$R_2 = \frac{R_TR_1}{R_1-R_T}$$

נציב את הנתונים ונקבל:

$$R_2 = \frac{R_TR_1}{R_1-R_T} = \frac{1500\times2000}{2000-1500} = \frac{3000000}{500} = 6000\Omega$$

מכאן נובע, שאם נחבר במקביל שני נגדים, שההתנגדויות שלהם 2000 ו–6000 אום, תהיה ההתנגדות השקולה 1500 אום.

התנגדויות שוות המחוברות במקביל

נמצא עתה נוסחא לחישוב ההתנגדות השקולה (R_T) של n התנגדויות המחוברות במקביל:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n} = \overset{n\ \text{פעמים}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots} = \frac{n}{R}$$

מכאן נובע:

$$\boxed{R_T = \frac{R}{n}}$$

R_T : ההתנגדות השקולה של n התנגדויות שוות מחוברות במקביל.

R : ההתנגדות של כל נגד בודד.

n : מספר ההתנגדויות המחוברות במקביל.

דוגמא: שני נגדים בעלי התנגדות שווה $R = 10\Omega$ מחוברים במקביל.
חשב את ההתנגדות השקולה.

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{10}{2} = 5\Omega$$

דוגמא: שלושה נגדים בעלי התנגדות שווה $R=45\Omega$ מחוברים במקביל.
חשב את ההתנגדות השקולה.

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{45}{3} = 15\Omega$$

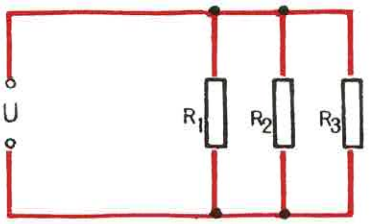
דוגמא: כמה נגדים, בעלי התנגדות $R=80\Omega$ כל אחד, יש לחבר במקביל כדי לקבל התנגדות שקולה של 20Ω ?

נשנה את נושא הנוסחא $R_T=R/n$ ונקבל: $n=R/R_T$

לכן: $n = \frac{R}{R_T} = \frac{80}{20} = 4$

ההספק הכללי של צרכנים המחוברים במקביל

ניקח מקרה של שלושה צרכנים, המחוברים במקביל למקור מתח בעל מתח U (ציור ז'12).



ציור ז'12

ההספק המושקע במעגל יהיה:

$$P = \frac{U^2}{R_T}$$

נציב בתוך הנוסחא את הביטוי:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ונקבל:

$$P = U^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

לאחר פתיחת הסוגריים יצא:

$$P = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_3}$$

הואיל ו- :

$$\frac{U^2}{R_1} = P_1 \; ; \; \frac{U^2}{R_2} = P_2 \; ; \; \frac{U^2}{R_3} = P_3$$

נקבל:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

או בצורה הכללית יותר:

$$\boxed{P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots}$$

נובע מכאן, שההספק המושקע ברשת צרכנים, המחוברים במקביל, שווה לסכום ההספקים המושקעים בכל צרכן בודד.

דוגמא: חשב את ההספק, הנצרך מהרשת על-ידי ארבעה צרכנים, המחוברים במקביל: $P_1 = 600W$; $P_2 = 100W$; $P_3 = 1kW$; $P_4 = 2.2kW$

$$P = P_1+P_2+P_3+P_4 = 600+100+1000+2200 = 3900W = 3.9kW$$

דוגמא: שני צרכנים, שהתנגדותם 100 אום ו-200 אום מחוברים במקביל לרשת 220 וולט. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי שני הצרכנים.

נחשב תחילה את ההספק, הנצרך על-ידי כל צרכן:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{220^2}{100} = \frac{48400}{100} = 484W$$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{220^2}{200} = \frac{48400}{200} = 242W$$

נציב עתה נתונים אלה בתוך משוואת ההספקים של צרכנים המחוברים במקביל ונקבל:

$$P = P_1 + P_2 = 484 + 242 = 726W$$

האנרגיה הכללית המושקעת בצרכנים המחוברים במקביל

ראינו בפרק הקודם, שכדי לחשב את האנרגיה החשמלית, הנצרכת על-ידי צרכן, עלינו לכפול את הספקו במשך זמן פעולתו:

$$W = Pt$$

נכפול את שני אגפי המשואה $P = P_1+P_2+P_3+ ..$ בערך (t) ונקבל:

$$Pt = P_1t + P_2t + P_3t + . . .$$

והואיל ו- $W = Pt$ נוכל לרשום את הנוסחא הכללית לחישוב האנרגיה הכללית של צרכנים המחוברים בחבור מקביל.

$$\boxed{W = W_1 + W_2 + W_3 + ...}$$

<u>האנרגיה הכללית, המושקעת בצרכנים, המחוברים במקביל, שווה לסכום האנרגיות, המושקעות בכל צרכן בודד.</u>

דוגמא: נברשת בעלת 5 נורות, שהספק כל אחת מהן 100 וט, פועלת בממוצע במשך 6 שעות ביום. חשב את האנרגיה, המושקעת בנברשת זו במשך חודש ימים (30 יום) ואת מחיר האנרגיה, אם מחיר קילווט-שעה הוא 8 אג'.

הואיל וכל הצרכנים, במקרה זה, פועלים במשך אותו פרק זמן, נוח יותר לחשב תחילה את ההספק הכללי, הנצרך על-ידם.

$$P = 5P_1 = 5 \times 100 = 500W = 0.5kW$$

$$W = Pt = 0.5 \times 6 \times 30 = 90kWh$$

ומחיר האנרגיה יהיה: 7.2 ל"י = 720 אג' = 8 × 90

דוגמא: חשב את מחיר האנרגיה הדו-חודשית של דירת מגורים בעלת הצרכנים הבאים:

א) 5 נורות בנות הספק של 100 וט, הפועלות בממוצע במשך 4 שעות ביום.

ב) 6 נורות בנות הספק של 60 וט, הפועלות בממוצע במשך 3 שעות ביום.

ג) מקרר בעל הספק של 300 וט, הפועל בממוצע במשך 8 שעות ביום.

ד) תנור בעל הספק של 1500 וט, הפועל בממוצע במשך 2 שעות ביום.

ה) דוד לחימום מים שהספקו 2000 וט, הפועל בממוצע במשך 2 שעות ביום.

ו) מגהץ בעל הספק של 600 וט, הפועל בממוצע במשך 4 שעות בשבוע.

נערוך את חישובינו בטבלה וניקח בחשבון 30 יום בחודש או 4 שבועות בחודש.
מחיר האנרגיה החשמלית הוא 8 אג' לקילווט-שעה.

המכשיר	ההספק הכללי	זמן העבודה במשך חודשיים	האנרגיה המושקעת
5 נורות (100W)	500W = 0.5kW	4 × 60 = 240h	120 kWh
6 נורות (60W)	360W = 0.36kW	3 × 60 = 180h	64.8kWh
מקרר (300W)	300W = 0.3kW	8 × 60 = 480h	144 kWh
תנור (1500W)	1500W = 1.5kW	2 × 60 = 120h	180 kWh
דוד (2000W)	2000W = 2kW	2 × 60 = 120h	240 kWh
מגהץ (600W)	600W = 0.6kW	4 × 8 = 32h	19.2kWh
		סה"כ האנרגיה	768 kWh

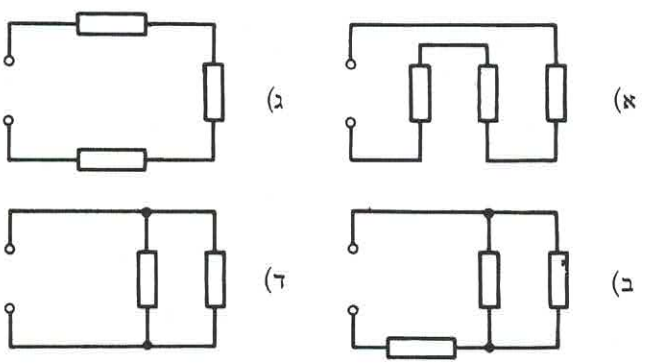
ומחיר האנרגיה יהיה: 61.44 ל"י = 6144 אג' = 8 × 768

שאלות סיכום ובעיות לפרק ז

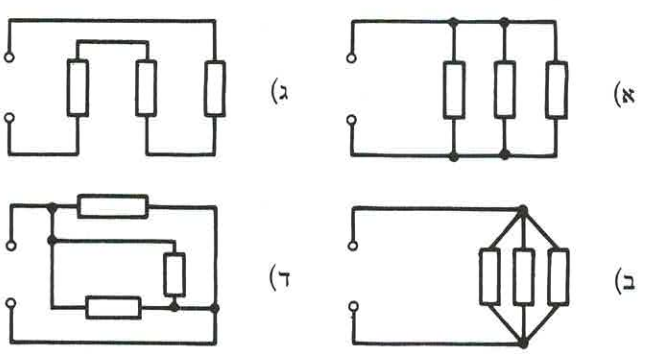
בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות המצויות בסוף הספר כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ז' 1) באיזה מהתרשימים הבאים החיבור הוא מקבילי?



ז' 2) באיזה מהתרשימים הבאים החיבור אינו מקבילי?



ז'3) **נגדים אחדים מחוברים בחיבור מקבילי למקור מתח.**

א) הנגד בעל ההתנגדות הגבוהה ביותר נמצא במתח הגבוה ביותר.

ב) הנגד בעל ההתנגדות הנמוכה ביותר נמצא במתח הגבוה ביותר.

ג) כל הנגדים נתונים באותו מתח.

ד) המתח מתחלק ביחס הפוך להתנגדויות.

ז'4) **על מנת שצרכנים המחוברים במקביל יפעלו כראוי, הם חייבים להיות:**

א) מתוכננים לאותו המתח (מתח הרשת).

ב) מתוכננים לאותה עוצמת זרם.

ג) בעלי אותה התנגדות.

ד) מבודדים היטב.

ז'5) **חוק הזרמים לקירכהוף קובע:**

א) הזרם נמצא ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות.

ב) הזרם במעגל חשמלי שווה למנת המתח בהתנגדות.

ג) דרך צרכנים, המחוברים בחיבור מקבילי, זורם אותו הזרם.

ד) סכום הזרמים, הנכנסים לצומת, שווה לסכום הזרמים, היוצאים ממנה.

ז'6) **לצומת מגיעים 3 מוליכים, אשר כל אחד מהם, נושא זרם שעוצמתו 5 אמפר מהצומת יוצא מוליך הנושא:**

א) $\frac{3}{5}$ אמפר.

ב) 3 אמפר.

ג) 15 אמפר.

ד) 5 אמפר.

ז'7) **4 נורות מחוברות במקביל למקור מתח. כל נורה צורכת זרם בעוצמה של 0.5 אמפר. צריכת הזרם הכללית מהמקור תהיה:**

א) 0.5 אמפר.

ב) 2 אמפר.

ג) 4 אמפר.

ד) 1 אמפר.

ז'8) 5 נורות שוות התנגדות מחוברות במקביל למקור מתח. הזרם הכולל הוא 5 אמפר. הזרם דרך כל נורה הוא:

א) 5 אמפר.
ב) 1 אמפר.
ג) 25 אמפר.
ד) 10 אמפר.

ז'9) 4 נורות, בעלות התנגדות שוה, מחוברות במקביל למתח בשיעור 100 וולט. כל נורה נתונה תחת מתח של:

א) 25 וולט.
ב) 400 וולט.
ג) 100 וולט.
ד) 2.5 וולט.

ז'10) בחיבור נגדים במקביל:

א) הזרם הזורם בכל נגד אינו תלוי בזרמים, הזורמים בנגדים האחרים.
ב) הזרם, הזורם בכל נגד, תלוי בזרמים, הזורמים בנגדים האחרים.
ג) ככל שמספר הנגדים גדול יותר, כן תלך ותגדל התלות.
ד) כל התשובות הנ"ל אינן נכונות.

ז'11) בהתנגדויות המחוברות במקביל, הזרמים מתחלקים בין ההתנגדויות:

א) בהתאם לחוק קירכהוף.
ב) בהתאם לחוק אום.
ג) ביחס ישר להתנגדויות.
ד) ביחס הפוך להתנגרויות.

ז'12) בחיבור צרכנים במקביל:

א) דרך הצרכן, שהתנגדותו נמוכה יותר, יזרום זרם בעל עוצמה גבוהה יותר.
ב) דרך צרכן, שהתנגדותו גבוהה יותר, יזרום זרם בעל עוצמה נמוכה יותר.
ג) דרך כל הצרכנים יזרום זרם בעל אותה עוצמה.
ד) עוצמת הזרם כלל אינה תלויה בהתנגדות.

ז'13) את ההתנגדות השקולה של מעגל מקבילי מחשבים באמצעות הנוסחא:

א) $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

ב) $R_T = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$

ג) $\frac{1}{R_T} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

ד) $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$

ז'14) בחיבור נגדים במקביל:

א) כל נגד נוסף מגדיל את ההתנגדות השקולה.

ב) כל נגד נוסף מקטין את ההתנגדות השקולה.

ג) נגד נוסף בעל התנגדות גבוהה מגדיל את ההתנגדות השקולה, ונגד נוסף בעל התנגדות נמוכה מקטין את ההתנגדות השקולה.

ד) נגד נוסף בעל התנגדות גבוהה מקטין את ההתנגדות השקולה, ונגד נוסף בעל התנגדות נמוכה מגדיל את ההתנגדות השקולה.

ז'15) בחיבור נגדים במקביל תהיה ההתנגדות השקולה:

א) שווה לסכום ההתנגדויות.

ב) קטנה מההתנגדות הנמוכה ביותר.

ג) גדולה מההתנגדות הגבוהה ביותר.

ד) קטנה מההתנגדות הגבוהה ביותר אך גדולה מההתנגדות הנמוכה ביותר.

ז'16) התנגדות גבוהה והתנגדות נמוכה מחוברות במקביל. ההתנגדות השקולה:

א) נקבעת בעיקר על-ידי ההתנגדות הנמוכה.

ב) נקבעת בעיקר על-ידי ההתנגדות הגבוהה.

ג) נקבעת בעיקר על-ידי ההתנגדות, המחוברת קרוב יותר למקור המתח.

ד) תהיה שווה למכפלת ההתנגדויות חלקי שתיים.

ז'17) שלושה נגדים, שהתנגדות כל אחד מהם היא 1000 אום, מחוברים במקביל. מוסיפים במקביל נגד רביעי שהתנגדותו 3 אום. ההתנגדות השקולה:

א) תגדל מעט.

ב) תקטן מעט.

ג) תהיה מעט פחות מ-3 אום.

ד) תהיה מעט יותר מ-3 אום.

ז'18) 5 נגדים של 24Ω, 36Ω, 54Ω, 72Ω, 108Ω, מחוברים במקביל.
קבע את ההתנגדות השקולה ללא חישוב:

א) 9 אום.

ב) 42 אום.

ג) 294 אום.

ד) 30 אום.

ז'19) בחיבור שני נגדים, שווי התנגדות, במקביל, ההתנגדות השקולה תשווה ל-:

א) סכום ההתנגדויות.
ב) כפליים התנגדותו של נגד אחד.
ג) התנגדותו של נגד אחד.
ד) מחצית התנגדותו של נגד אחד.

ז'20) בחיבור מקבילי של n נגדים בעלי התנגדות (R) . תהיה ההתנגדות השקולה (R_T) שווה:

א) $R_T = nR$
ב) $R_T = R$
ג) $R_T = \frac{R}{n}$
ד) $R_T = \frac{n}{R}$

ז'21) אם נחבר, למעגל מקבילי קיים, נגד נוסף במקביל, מבלי שמתח המקור ישתנה:

א) עוצמת הזרם הכללי תגדל.
ב) עוצמת הזרם הכללי תקטן.
ג) עוצמת הזרם הכללי לא תשתנה.
ד) הדבר תלוי בערך הנגד.

ז'22) מחברים במקביל 4 צרכנים, שהתנגדות כל אחד מהם 4 אום. ההתנגדות השקולה של המעגל תהיה:

א) 16 אום.
ב) 8 אום.
ג) 1 אום.
ד) $\frac{1}{4}$ אום.

ז'23) במערכת צרכנים, המחוברים במקביל למקור בעל מתח קבוע, יתחלק ההספק:

א) בחלקים שווים בין הצרכנים.
ב) ביחס ישר להתנגדותו של כל צרכן.
ג) ביחס הפוך להתנגדותו של כל צרכן.
ד) הצרכן הקרוב יותר למקור המתח יצרוך את ההספק הגדול יותר.

ז'24) ההספק הכללי של מערכת צרכנים מחוברים במקביל:

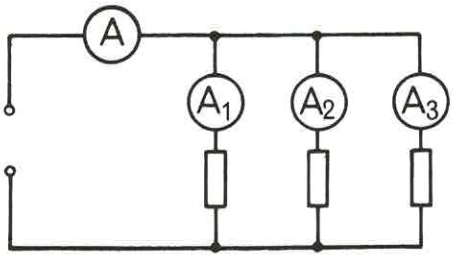
א) שווה לסכום ההספקים של הצרכנים הבודדים.
ב) קטן מהספקו של הצרכן בעל ההספק הקטן ביותר.
ג) קטן מהספקו של הצרכן בעל ההספק הגדול ביותר, וגדול מזה בעל ההספק הקטן ביותר.
ד) שווה לסכום ההספקים מחולק במספר הצרכנים.

ז'1) אמפרמטר (A_1) מציין 2A

אמפרמטר (A_2) מציין 1.5A

אמפרמטר (A_3) מציין 0.8A

איזו עוצמת זרם מציין אמפרמטר (A) ?



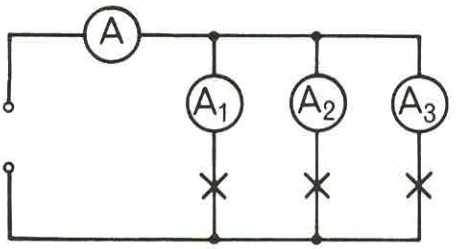
ציור ז'15

ז'2) אמפרמטר (A) מציין 12A

אמפרמטר (A_1) מציין 3A

אמפרמטר (A_3) מציין 8A

איזו עוצמת זרם מציין אמפרמטר (A_2) ?



ציור ז'16

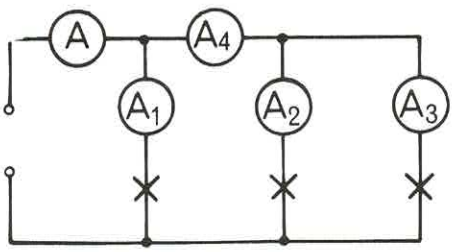
ז'3) אמפרמטר (A_1) מציין 2.5A

אמפרמטר (A_2) מציין 5A

אמפרמטר (A_3) מציין 10A

איזו עוצמת זרם מציינים האמפרמטרים

(A) ו- (A_4) ?



ציור ז'17

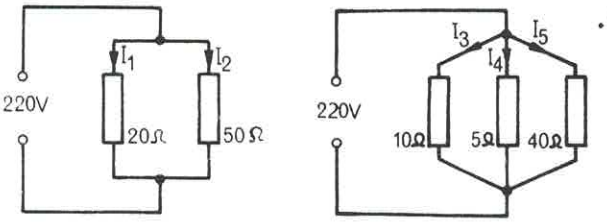
ז'4) ארבעה נגדים בעלי התנגדויות 12, 10, 5, 3 אום מחוברים במקביל למקור מתח של 120 וולט.

חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך כל נגד, ואת עוצמת הזרם הכללי.

ז'5) חשב את עוצמות הזרמים

I_1 ,I_2 ,I_3 ,I_4 ,I_5

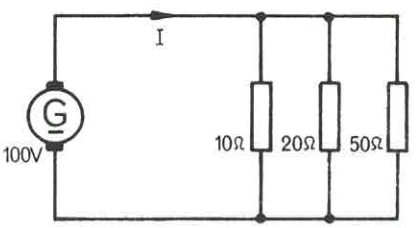
המסומנים בתרשים ז'18.



ציור ז'18

ז'6) חשב את עוצמת הזרם (I)

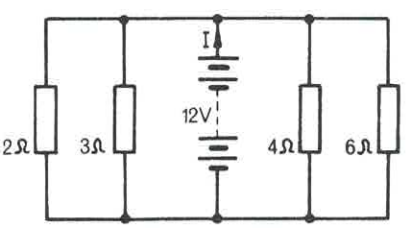
המסומן בתרשים ז'19.



ציור ז'19

ז'7) חשב את עוצמת הזרם (I)

המסומן בתרשים ז'20.



ציור ז'20

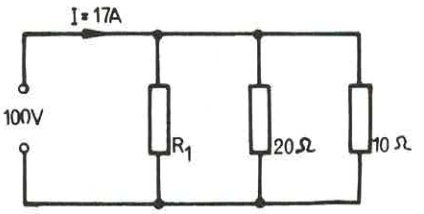
ז'8) שלושה נגדים $R_3=20\Omega$ $R_2=15\Omega$ $R_1=10\Omega$ מחוברים במקביל. לאיזה מתח יש לחבר את מערכת הנגדים על מנת שדרך R_1 יזרום זרם בעוצמה של 6 אמפר. מה תהיה עוצמת הזרם דרך הנגדים האחרים?

ז'9) שלושה גופי חימום מחוברים במקביל למקור מתח. התנגדויות הנגדים הן:

$R_1 = 80\Omega$ $R_2 = 120\Omega$ $R_3 = 240\Omega$

דרך R_1 זורם זרם בעוצמה של 3 אמפר. חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך R_2 ו- R_3 , ואת עוצמת הזרם הכללי.

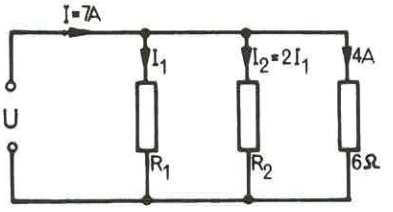
ז'10) חשב את עצמת הזרם, הזורם בכל אחד מהענפים של הרשת, המתוארת בתרשים ז'21.



ציור ז'21

ז'11) בתרשים ז'22 מופיעה רשת בת שלושה נגדים מחוברים בחיבור מקבילי.
חשב את:

I_1 ; I_2 ; U ; R_1 ; R_2 ;



ציור ז'22

ז'12) שני נגדים שווי התנגדות מחוברים במקביל למקור מתח של 220 וולט. חשב את ערך ההתנגדות של כל נגד, אם עוצמת הזרם הכללי היא 10 אמפר.

13) 2 נגדים בעלי התנגדות 60 אום ו-20 אום מחוברים במקביל למקור מתח. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך כל אחד מהנגדים, אם עוצמת הזרם הכללי היא 16 אמפר.
הדרכה: עליך להניח, שאם דרך אחד הנגדים זורם זרם שעוצמתו I_1 , יזרום דרך השני זרם שעוצמתו $16-I_1$.

ז'14) חשב את ההתנגדות השקולה של 3 נגדים מחוברים במקביל בעלי התנגדות:

$R_1 = 4\Omega$ $R_2 = 3\Omega$ $R_3 = 6\Omega$

ז'15) חשב את ההתנגדות השקולה של 4 נגדים מחוברים במקביל:

$R_1 = 4\Omega$ $R_2 = 6\Omega$ $R_3 = 12\Omega$ $R_4 = 3\Omega$

ז'16) חשב את ההתנגדות השקולה של 4 נגדים מחוברים במקביל:

$R_1 = 10K\Omega$ $R_2 = 20K\Omega$ $R_3 = 30K\Omega$ $R_4 = 40K\Omega$

הדרכה: הצב את ההתנגדויות ביחידות קילואום ותקבל תוצאה בקילואום.

ז'17) חשב את ההתנגדות השקולה של 5 נגדים המחוברים במקביל:

$R_1 = 5\Omega$ $R_2 = 6\Omega$ $R_3 = 6\Omega$ $R_4 = 10\Omega$ $R_5 = 30\Omega$

ז'18) שלושה נגדים בעלי התנגדות 30, 15, 10 אום מחוברים במקביל.

א) חשב את ההתנגדות השקולה.

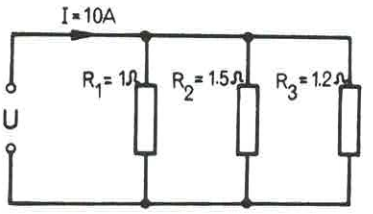
ב) מה תהיה ההתנגדות השקולה, אם נוסיף במקביל נגד נוסף, שהתנגדותו 20 אום?

ז'19) שלושה נגדים בעלי התנגדות 30, 10, 5 אום מחוברים במקביל למקור מתח.
עוצמת הזרם הכללי שצורכים הנגדים היא 6 אמפר. חשב:

א) את מתח המקור.

ב) את הזרם בכל ענף.

ז'20) חשב את המתח U ואת
עוצמות הזרמים I_1 I_2 I_3
המסומנים בציור ז'23.



ציור ז'23

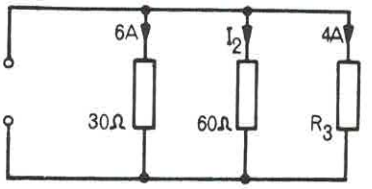
ז'21) שלושה נגדים

$R_1 = 20\Omega$ $R_2 = 30\Omega$ $R_3 = 60\Omega$

מחוברים למקור מתח במקביל.
עוצמת הזרם הכללי היא $I = 9A$.
חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך כל אחד מהענפים.

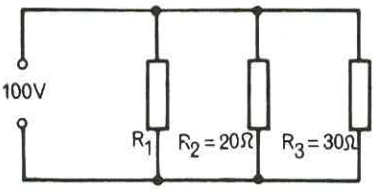
ז'22) זרם בעוצמה של 42 אמפר מתפצל בין שלושה ענפים מקבילים, שהתנגדותם 12, 10, 6 אום. חשב את עוצמת הזרם בכל ענף.

ז'23) חשב את עוצמת הזרם I_2
ואת ההתנגדות השקולה R_T
ברשת המופיעה בציור ז'24.



ציור ז'24

ז'24) ההתנגדות השקולה של המעגל שבציור ז'25 היא: $R_T = 10\Omega$
חשב את עוצמת הזרם, הזורם בכל אחד מהענפים, ואת עוצמת הזרם הכללי.



ציור ז'25

ז'25) שלושה נגדים: $R_3=40K\Omega$ $R_2=30K\Omega$ $R_1=20K\Omega$ מחוברים במקביל.
חשב את ערכו של נגד רביעי R_4, שיש להוסיף במקביל על מנת שההתנגדות השקולה תהיה $R_T = 4K\Omega$.

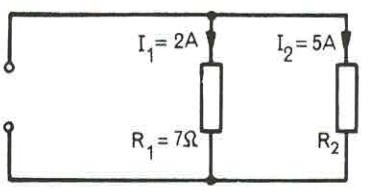
ז'26) התנגדותם השקולה של שלושה נגדים היא $R_T = 10\Omega$. התנגדותו של אחד הנגדים $R_1=50\Omega$ ושני הנגדים הנותרים הם שווי ערך $R_2 = R_3$.
חשב את R_3 ואת R_2.

ז'27) מהי ההתנגדות השקולה של שני נגדים 45 ו-30 אום המחוברים במקביל.

ז'28) שני נגדים בעלי התנגדות 4 אום ו-6 אום מחוברים במקביל למקור מתח. עוצמת הזרם הכללי היא 50 אמפר. חשב את עוצמת הזרם בכל ענף.

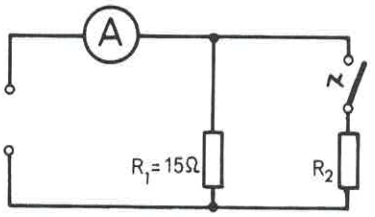
ז'29) איזה נגד יש להוסיף במקביל לנגד בעל התנגדות 100 אום, כדי שההתנגדות השקולה תהיה 40 אום.

ז'30) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל שבציור ז'26.



ציור ז'26

ז'31) עם סגירת המפסק (א), המופיע בתרשים ז'27, מציין מד-הזרם, עוצמה גדולה פי ארבעה.
חשב את ההתנגדות R_2 .

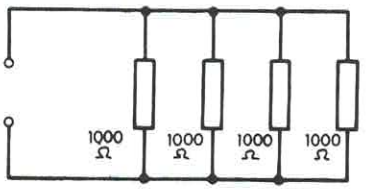


ציור ז'27

ז'32) שני נגדים בעלי התנגדות $R_1=6\Omega$ $R_2=8\Omega$ מחוברים במקביל למקור שהמתח שלו אינו ידוע. עוצמת הזרם הכללי היא 14 אמפר.
חשב את מתח המקור ואת עוצמת הזרם בכל ענף.

ז'33) $R_1=40\Omega$ ו- $R_2=20\Omega$ מחוברים במקביל. לצומת מגיע זרם, שעוצמתו 12 אמפר.
חשב את עוצמת הזרם בכל אחד מהנגדים.

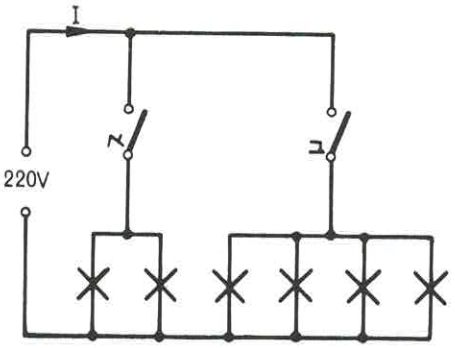
ז'34) חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל שבציור ז'28.



ציור ז'28

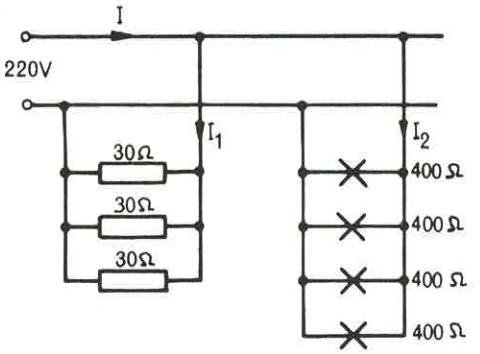
ז'35) שני נגדים שווי התנגדות מחוברים במקביל למקור מתח של 12 וולט. חשב את ערכי ההתנגדות של שני הנגדים, אם עוצמת הזרם הכללי במעגל היא 3 אמפר.

ז'36) חשב את עוצמת הזרם הכללי I , הזורם במעגל שבציור ז'29, במקרים הבאים:
1) המפסק (א) סגור.
2) המפסק (ב) סגור.
3) המפסקים (א) ו-(ב) סגורים.
התנגדות כל נורה 484 אום.



ציור ז'29

ז'37) בציור ז'30 מופיע תרשים של רשת נגדים ונורות.
חשב את הזרמים
I ; I_1 ; I_2



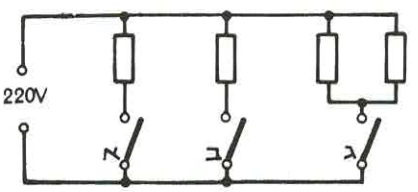
ציור ז'30

ז'38) מחברים ארבעה גופי חימום שווי התנגדות במקביל. אם מוסיפים במקביל שניים נוספים, יורדת ההתנגדות השקולה ב-5 אום.
חשב את התנגדות גוף החימום ואת ההתנגדות השקולה, כאשר מחוברים ארבעה וכאשר מחוברים ששה.

ז'39) 10 נורות, בעלות הספק 60 וט, מחוברות במקביל למתח 200 וולט.
חשב את עוצמת הזרם הכללי ואת ההספק הכללי של המעגל.

ז'40) 3 נגדים $R_3=12\Omega$ $R_2=6\Omega$ $R_1=4\Omega$ מחוברים במקביל למקור מתח. עוצמת הזרם הכללי היא 60 אמפר. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי כל נגד, ואת ההספק הכללי.

ז'41) לשינוי ההספק של מערכת גופי חימום, המחוברים במקביל, משתמשים בשלושה מפסקים כמתואר בציור ז'31.
חשב את הספק המערכת כאשר:
1) המפסק (א) סגור.
2) המפסקים (א) ו-(ב) סגורים.
3) המפסקים (א) ו-(ג) סגורים.
4) כל המפסקים סגורים.



ציור ז'31

ידוע, כי כאשר כל המפסקים סגורים, עוצמת הזרם הכללית היא 10 אמפר.

ז'42) שלושה נגדים $R_3=3\Omega$ $R_2=2\Omega$ $R_1=0.5\Omega$ מחוברים במקביל למתח של 12 וולט. חשב את ההתנגדות השקולה ואת ההספק, הנצרך על-ידי הנגד R_1 .

ז'43) שלוש נורות בעלות הספק 100, 75, 60 וט מחוברות במקביל לרשת 220 וולט. חשב את עוצמת הזרם, הזורם בכל נורה, ואת עוצמת הזרם הכללי.

ז'44) 20 נורות מחוברות לרשת 220 וולט, במקביל, באמצעות מפסקים. התנגדות כל נורה 484 אום. חשב את ההתנגדות השקולה ואת ההספק, הנצרך במיקרים הבאים:

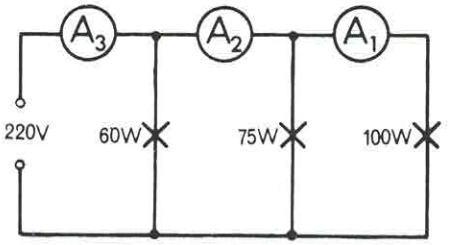
א) כאשר 5 מפסקים סגורים.

ב) כאשר 10 מפסקים סגורים.

ג) כאשר כל המפסקים סגורים.

ז'45) כיריים שהתנגדותם 40 אום, מגהץ שהתנגדותו 100 אום, ונורה שהתנגדותה 800 אום, מחוברים במקביל לרשת. עוצמת הזרם הכללי בקו היא 7.25 אמפר. חשב את מתח הרשת, את עוצמת הזרם, הזורם בכל מכשיר, את ההספק, הנצרך על-ידי כל מכשיר, ואת ההספק הכללי.

ז'46) חשב את עוצמת הזרם, שמציין כל מד-זרם, המופיע בציור ז'32.



ציור ז'32

ז'47) 10 נורות בנות 200 וט מחוברות במקביל לרשת 220 וולט. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל ואת הזרם הכללי.

ז'48) שני סלילים מחוברים במקביל למתח של 10 וולט. עוצמת הזרם הכללי היא 4 אמפר והספק הסליל הראשון 15 וט. חשב את ההתנגדות של כל סליל.

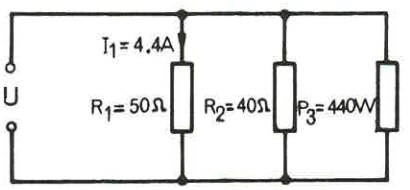
ז'49) שלושה נגדים $R_3=1\Omega$ $R_2=3\Omega$ $R_1=6\Omega$ מחוברים במקביל למקור מתח.
עוצמת הזרם דרך R_1 היא 2 אמפר. חשב:

1) את המתח אליו מחוברים הנגדים.
2) את עוצמת הזרם דרך R_2 ו- R_3 .
3) את ההספק, הנצרך על-ידי כל צרכן.
4) את ההספק הכללי.

ז'50) שלושה צרכנים $R_3=20\Omega$ $R_2=50\Omega$ $R_1=100\Omega$ מחוברים במקביל למקור מתח.
עוצמת הזרם הכללי היא 10 אמפר.
חשב את מתח המקור, את עוצמת הזרם בכל צרכן ואת ההספק הנצרך על-ידי כל צרכן.

ז'51) במעגל שבציור ז'33 חשב:

1) את המתח U .
2) את עוצמות הזרמים בענפים.
3) את ההספק של כל צרכן.



ציור ז'33

ז'52) תנור חשמלי בנוי שלושה גופי חימום בעלי התנגדות 60, 40, 20 אום. התנור מיועד למתח 220 וולט. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי התנור, ואת עוצמת הזרם שהוא צורך מהרשת, כאשר גופי החימום מחוברים במקביל.

ז'53) שלושה צרכנים, בעלי הספק 500, 200, 100 וט, מחוברים לרשת של 100 וולט בחיבור מקבילי. חשב את עוצמת הזרם הכללי בקו.

ז'54) מגהץ, שהספקו 1000 וט, תנור שהספקו 1500 וט, וחמש נורות בעלות הספק של 100 וט לנורה, מחוברים במקביל לרשת הארצית (220 וולט). חשב את עוצמת הזרם בקו.

ז'55) חמש נורות, שכל אחת מהן היא בעלת הספק של 100 וט מחוברות במקביל למתח של 220 וולט.
חשב את ההתנגדות של כל נורה ואת ההתנגדות השקולה.

ז'56) גנרטור מספק אנרגיה חשמלית למאה נורות בנות 40 וט, לעשרה מגהצים בני 500 וט, ולדוד חימום מים בן 1500 וט במתח של 200 וולט.

חשב את ההספק הכללי בקילוט ואת עוצמת הזרם בקו.

ז'57) כירה חשמלית בנויה שני גופי חימום, בני 500 וט, מחוברים בחיבור מקבילי.
חשב את הספק הכירה ואת עוצמת הזרם, שצורכת הכירה במתח 220 וולט.

ז'58) תנור חשמלי (1000W) ומגהץ (800W) פועלים באותו הזמן במתח של 220 וולט.
כמה נורות בנות 100 וט ניתן להוסיף במקביל, בתנאי שעוצמת הזרם בקו לא תעלה על 10 אמפר?

ז'59) בקו נחושת, שאורכו 5000 מטר ושטח החתך שלו 6 ממ"ר, זורם זרם בעוצמה של 10 אמפר.
כדי להקטין את ההפסדים בקו חיברו אליו במקביל קו נוסף בעל אותו אורך ובשטח חתך של 3 ממ"ר. חשב:

1) את הפסדי ההספק בקו לפני השינוי.
2) את הפסדי ההספק בקו אחרי השינוי.

ז'60) גוף חימום, העשוי תיל כרום-ניקל, שאורכו 11 מטר ושטח החתך שלו 0.25 ממ"ר, מחובר במקביל לגוף חימום, העשוי קונסטנטן, שאורכו ושטח החתך שלו שווים לאלה של גוף החימום הראשון.
חשב את ההספק, הנצרך על-ידי כל גוף חימום בהיותו מחובר למתח של 220 וולט ואת ההספק הכולל בהיותם מחוברים במקביל.

ז'61) א) כמה נורות 115V/40W ניתן להפעיל, אם עוצמת הזרם המירבית המותרת בקו היא 6 אמפר?
ב) כמה נורות יש לכבות כדי להוסיף מגהץ שהספקו 500 וט?

ז'62) 20 נורות 220V/40W פעלו במשך 30 שעות. חשב את ההוצאה, אם המחיר לכל קילווט-שעה הוא 7 אג'.

ז'63) במרתף מותקנות 3 נורות בנות 60 וט, הפועלות במשך 24 שעות ביממה ללא הפסק.
חשב את מחיר האנרגיה הדו-חודשי (60 יום), אם מחיר קילווט-שעה הוא 7 אג'.

ז'64) בחדר כיתה מצויות 10 שפופרות פלואוריסצנטיות בנות 40 וט. בתקופת החורף, פועלות השפופרות במשך 6 שעות ליום בממוצע.
חשב את מחיר האנרגיה לחדש (25 ימי לימוד), אם מחיר כל קילווט-שעה הוא 8 אג'.

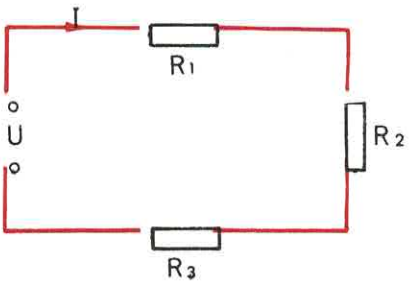
ז'65) בדירת מגורים מצויים הצרכנים הבאים:

1) 2 נורות בנות 75 וט, הפועלות בממוצע במשך 2 שעות ביום.
2) 3 נורות בנות 60 וט, הפועלות בממוצע במשך 4 שעות ביום.
3) 2 נורות בנות 40 וט, הפועלות בממוצע במשך $\frac{1}{2}$ שעה ביום.
4) 2 שפופרות פלואוריסצנטיות בנות 40 וט, הפועלות במשך 1 שעה ביום.
5) מגהץ בן 400 וט, הפועל במשך 10 שעות בחודש.

חשב את הסכום שתגבה חברת החשמל מדירה זו, בשביל תקופה של חודשיים (60 יום), אם ידוע, שהתשלום הקבוע, הכולל 30 קילווט-שעה, הוא 3.10 לי"י וכל קילווט-שעה נוסף עולה 7.8 אג'.

פרק ח - חיבור טורי של צרכנים

חיבור טורי מהו?

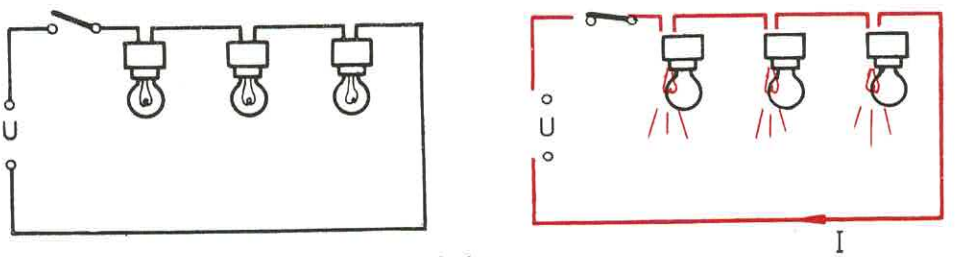


ציור ח' 1

בחיבור טורי מחוברים הנגדים זה בהמשך לזה, כך שהם מהווים מסלול אחד ויחידי לזרם החשמלי (ציור ח' 1).

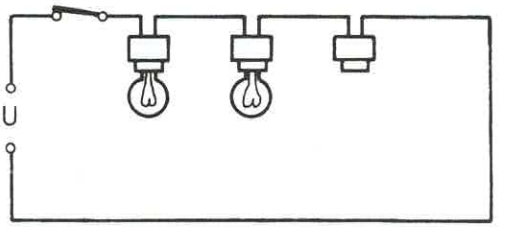
אם נתבונן בציור ח' 1 נראה, כי במעגל טורי אין הסתעפויות וזרם בעל אותה עוצמה (I) זורם דרך כל הנגדים. מסיבה זו חייבים כל הנגדים או הצרכנים המחוברים במעגל טורי להיות מתוכננים לאותה עוצמת זרם. אם נחבר, במעגל טורי, צרכן, המיועד לזרם בעל עוצמה חזקה מזו הזורמת במעגל, לא יפעל הצרכן כראוי, ואם נחבר צרכן המיועד לזרם בעל עוצמה חלשה, מזה הזורם במעגל, ייפגם הצרכן או יישרף.

בחיבור טורי תלויים הצרכנים זה בזה, ואין אפשרות לחבר או לנתק כל צרכן בנפרד, כפי שניתן בחיבור מקבילי. אם משלבים מפסק במעגל, ניתן להפעיל או לנתק באמצעותו את כל הצרכנים, המחוברים במעגל, גם יחד (ציור ח' 2).



ציור ח' 2

כפי שראינו, תלויים כל הצרכנים במעגל טורי זה בזה. אם אחד הצרכנים יוצא מכלל פעולה, או שמוציאים אותו מהמעגל, נפסקת רציפות המעגל, וכתוצאה מכך נפסקת זרימת הזרם, וכל הצרכנים מפסיקים לפעול (ציור ח'3).



ציור ח'3

ההתנגדות השקולה של מעגל טורי

נניח שברשותנו תייל מוליך, באורך כלשהו, בעל התנגדות R_1 . ככל שנאריך את התייל, כן תגדל התנגדותו, הואיל והתנגדותו של תייל נמצאת ביחס ישר לאורכו. אם כתוצאה מתוספת האורך, גדלה התנגדותו בשיעור R_2 , הרי שהתנגדות התייל הארוך יותר (R_T) תהיה: $R_T = R_1 + R_2$

ברור, כי מדובר כאן בחיבור טורי של שני תילים, הואיל והם מחוברים זה בהמשך לזה. המסקנה הנובעת מכך היא, שההתנגדות השקולה של מספר התנגדויות, מחוברות בטור, שווה לסכום ההתנגדויות הבודדות:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

דוגמא: שלושה נגדים $R_1=10\Omega$ $R_2=15\Omega$ $R_3=20\Omega$ מחוברים בחיבור טורי. חשב את ההתנגדות השקולה.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 15 + 20 = 45\Omega$$

התנגדויות שוות בחיבור טורי

אם ברשותנו n התנגדויות (R) , המחוברות בטור, תקבל הנוסחא לחישוב ההתנגדות השקולה, את הצורה הבאה:

$$R_T = \overbrace{R + R + R + \ldots}^{n \text{ פעמים}}$$

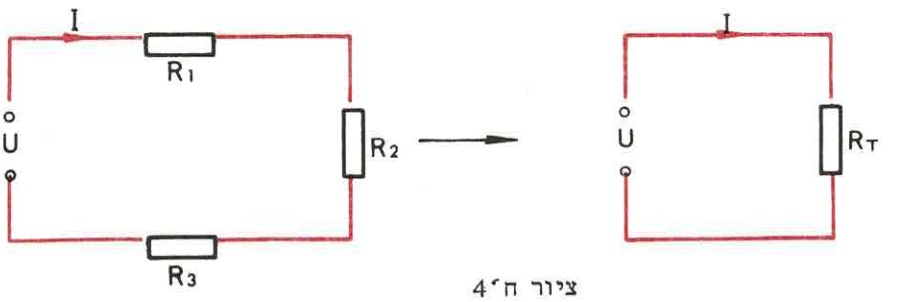
לכן: $R_T = nR$

דוגמא: 10 נורות בעלות התנגדות 20 אום מחוברות בטור.
חשב את ההתנגדות השקולה.

$$R_T = nR = 10 \times 20 = 200\Omega$$

חישוב עוצמת הזרם במעגל טורי

ההתנגדות השקולה (R_T), של התנגדויות מחוברות בטור היא אותה התנגדות, שאם נחברה במעגל החשמלי, במקום כל האחרות, לא תשתנה עוצמת הזרם במעגל (ציור ח'4) כאשר הוא מחובר לאותו המקור.



ציור ח'4

נובע מכאן, שאת עוצמת הזרם במעגל טורי, הזורם דרך כל אחד מהנגדים, ניתן לחשב באמצעות חוק אום, לאחר שמחשבים את ההתנגדות השקולה (R_T):

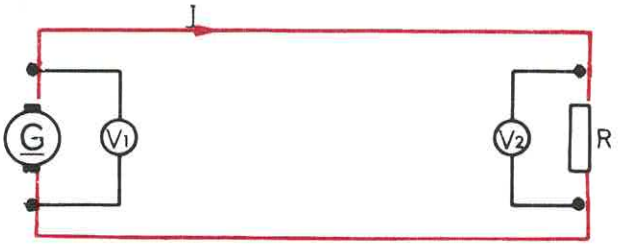
$$I = \frac{U}{R_T}$$

דוגמא: ארבעה נגדים $R_1=6\Omega$ $R_2=3\Omega$ $R_3=2\Omega$ $R_4=1\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח של 24 וולט. חשב את עוצמת הזרם במעגל.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 6 + 3 + 2 + 1 = 12\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{24}{12} = 2A$$

מפל מתח



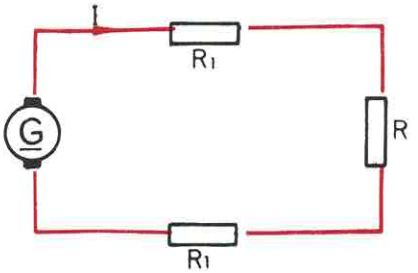
ציור ח׳5

נניח, כי קו ארוך מספק אנרגיה חשמלית ממחולל (גנרטור) G לצרכן R (ציור ח׳5).

מחברים וולטמטר אחד בין הדקיו של המחולל ומחברים וולטמטר שני בין הדקיו של הצרכן; והנה מסתבר, כי הוולטמטר (V_1) מציין מתח גבוה מזה שמציין הוולטמטר (V_2). מה הסיבה לכך?

כפי שכבר ראינו, בפרקים קודמים, מתגבר המתח על ההתנגדות ומזרים דרכה זרם חשמלי. כתוצאה מכך נוצר, על-גבי ההתנגדות, הפסד מתח הקרוי "מ פ ל מ ת ח".

אם נחזור ונתבונן בציור ח׳5 נבין, מדוע הוולטמטר (V_2) מציין מתח נמוך מזה שמציין הוולטמטר (V_1). הקו הארוך, המחבר את הצרכן אל המחולל, מהווה התנגדות למעבר הזרם, ומסיבה זו מופיע על-פניו מפל מתח. לכאורה, אין המעגל המתואר בציור ח׳5 אלא מעגל טורי המורכב משלוש התנגדויות: התנגדות R_1 של המוליך המזרים את הזרם מהמחולל אל הצרכן, ההתנגדות R של הצרכן, ושוב התנגדות R_1 של המוליך, המחזיר את הזרם מהצרכן R אל המחולל (ציור ח׳6).



ציור ח׳6

על גבי ההתנגדויות R_1 מופיע מפל מתח, ומסיבה זו המתח, השורר בין הדקיו של הצרכן R, הוא נמוך ממתח המקור. ניתן לומר, במילים אחרות, כי מפל המתח על פני הצרכן R נמוך ממתח המקור. לכן, כאשר דרוש לספק אנרגיה חשמלית לצרכן מרוחק ממקור המתח, יש לקחת בחשבון את מפל המתח בקווים, ולתכנן מקור מתח בעל מתח גבוה יותר מזה הדרוש לצרכן.

ניתן לסכם ולומר כי: <u>זרם חשמלי (I) הזורם דרך התנגדות (R) גורם למפל מתח (U).</u>

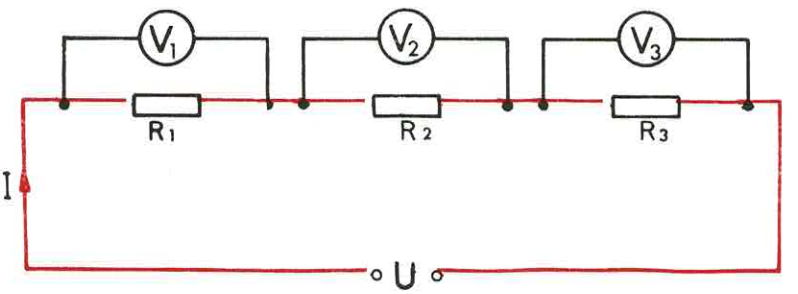
את מפל המתח מחשבים באמצעות חוק אום, הואיל ומפל המתח על גבי התנגדות נמצא ביחס ישר להתנגדות - וביחס ישר לעוצמת הזרם, הזורם דרך התנגדות:

$$U = IR$$

דוגמא: זרם בעוצמה של 5 אמפר זורם דרך צרכן שהתנגדותו 6 אום.
חשב את מפל המתח על גבי הצרכן.

$$U = IR = 5 \times 6 = 30V$$

בציור ח'7 מופיע מעגל טורי של שלושה נגדים R_1 R_2 R_3 המחוברים לוזור מתח בעל מתח U . עוצמת הזרם במעגל היא I . הואיל ומתח נמדד בכל מקרה בין שתי נקודות, הרי הוולטמטר (V_1) מודד את מפל המתח על גבי הנגד R_1 , הוולטמטר (V_2) מודד את מפל המתח על גבי הנגד R_2 , והוולטמטר (V_3) מודד את מפל המתח על גבי הנגד R_3 .



ציור ח'7

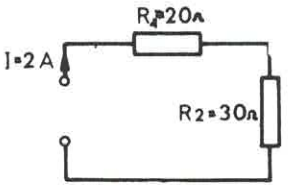
דרך שלושת הנגדים, בהיותם מחוברים בטור, זורם זרם בעל אותה העוצמה (I) .
נוכל אם כן לחשב את מפלי המתח על שלושת הנגדים באמצעות חוק אום:

מפל המתח על גבי R_1 יהיה: $U_1 = IR_1$

מפל המתח על גבי R_2 יהיה: $U_2 = IR_2$

מפל המתח על גבי R_3 יהיה: $U_3 = IR_3$

דוגמא: חשב את מפלי המתח על גבי R_1 ו- R_2 המופיעים בציור ח'8.



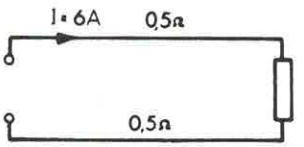
ציור ח'8

$$U_1 = IR_1 = 2 \times 20 = 40V$$

$$U_2 = IR_2 = 2 \times 30 = 60V$$

דוגמא: בציור ח'9 מופיע קו, שהתנגדות כל אחד ממוליכיו היא 0.5Ω. בקצה הקו נתון צרכן, המוזן בזרם שעוצמתו 6 אמפר.

חשב את מפל המתח בקו.

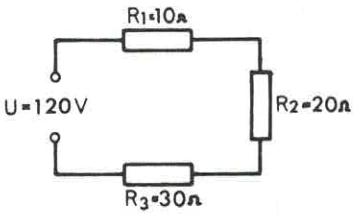


ציור ח'9

$$R_{קו} = 0.5 + 0.5 = 1\Omega$$

$$U_{קו} = I \times R_{קו} = 6 \times 1 = 6V$$

דוגמא: חשב את מפלי המתח על פני כל אחד מהנגדים, המופיעים בתרשים שבציור ח'10.



ציור ח'10

נחשב תחילה את ההתנגדות השקולה R_T :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 30 = 60\Omega$$

עוצמת הזרם במעגל תהיה:

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{120}{60} = 2A$$

נוכל לחשב עתה את מפלי המתח על גבי כל נגד:

$$U_1 = IR_1 = 2 \times 10 = 20V$$

$$U_2 = IR_2 = 2 \times 20 = 40V$$

$$U_3 = IR_3 = 2 \times 30 = 60V$$

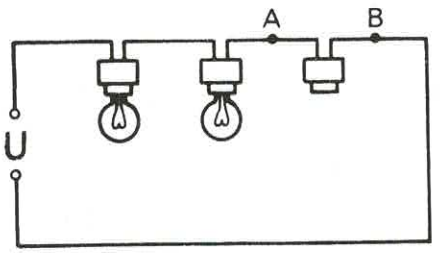
דוגמא: צרכן הניזון מגנרטור, באמצעות קו שהתנגדותו 2 אום, צורך זרם של 25 אמפר. חשב את מפל המתח בקו ואת מפל המתח על-גבי הצרכן - אם התנגדותו 10 אום.

$$U_{\text{קו}} = I \times R_{\text{קו}} = 25 \times 2 = 50V$$

$$U_{\text{צר}} = I \times R_{\text{צר}} = 25 \times 10 = 250V$$

כל עוד אין זרימת זרם במעגל, אין בו גם מפל מתח.

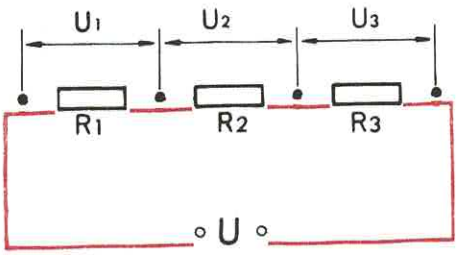
בציור ח'11 מתואר מעגל טורי של נורות החסר נורה אחת. ברור שמעגל זה הוא פתוח, ומסיבה זו אין בו זרימת זרם. הואיל ואין זרימת זרם, לא יהיה בו גם מפל מתח, והמתח, השורר בין הנקודות A ו- B , יהיה שווה למתח המקור.



ציור ח'11

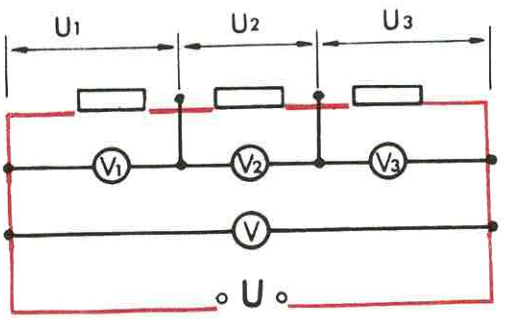
חוק מפלי המתח לקירכהוף

בציור ח'12 מתואר מעגל טורי אותו ננהג לכנות בשם "ע נ י ב ה". בעניבה זו מקור מתח בעל מתח U ושלושה נגדים R_1 R_2 R_3. על הנגד R_1 נופל מתח U_1, על הנגד R_2 נופל מתח U_2 ועל הנגד R_3 נופל מתח U_3.



ציור ה'12

נחבר במעגל זה ארבעה וולטמטרים כך ששלושה מהם ימדדו את מפלי המתח על פני הנגדים, הרביעי ימדוד את מתח המקור (ציור ח'13).



ציור ח'13

ניווכח כי מתח המקור שווה לסכום מפלי המתח במעגל.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

הואיל ובעניבה עשוי להימצא כל מספר של נגדים, נוכל לרשום באופן כללי:

$$\boxed{U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots\ldots}$$

חוק זה אשר נוסח על-ידי "קירכהוף" אומר:

<u>סכום מפלי המתח, במעגל טורי, שווה למתח המקור.</u>

פתח את הנוסחא האחרונה על-ידי הצבת הביטויים הבאים:

$$U_1 = IR_1 \qquad U_2 = IR_2 \qquad U_3 = IR_3$$

ונקבל:

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \ldots\ldots$$

כפי שאנו רואים (I) הוא גורם משותף, לכן נוציאו אל מחוץ לסוגריים:

$$U = I\ (R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots)$$

הואיל וסכום ההתנגדויות, במעגל טורי, שווה להתנגדות השקולה (R_T) נקבל:

$$\boxed{U = IR_T}$$

הווה אומר, שמתח המקור, במעגל טורי, שווה למכפלת הזרם בהתנגדות השקולה של המעגל.

דוגמא: מעגל טורי מורכב משלושה נגדים: $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$, $R_3=15\Omega$.

עוצמת הזרם במעגל היא 2 אמפר.

חשב את מפל המתח על כל נגד ואת מתח המקור.

$$U_1 = IR_1 = 2 \times 5 = 10V$$
$$U_2 = IR_2 = 2 \times 10 = 20V$$
$$U_3 = IR_3 = 2 \times 15 = 30V$$
$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 10 + 20 + 30 = 60V$$

או בדרך שנייה: $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 5 + 10 + 15 = 30\Omega$

$$U = IR_T = 2 \times 30 = 60V$$

דוגמא: צרכן, שהתנגדותו 20 אום, ניזון ממקור מתח של 220 וולט דרך קו בעל שני מוליכים, שהתנגדות כל אחד מהם הוא 1 אום.
חשב את מפל המתח בקו ואת המתח על פני הצרכן.

$$R_T = 20 + 1 + 1 = 22\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{220}{22} = 10A$$

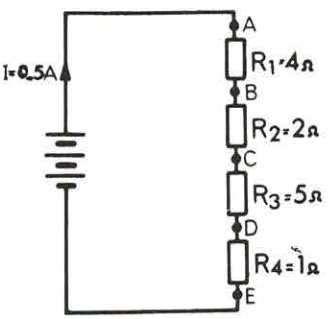
$$_{\text{קו}}U = I \times {}_{\text{קו}}R = 10 \times 2 = 20V$$

$$_{\text{צר}}U = I \times {}_{\text{צר}}R = 10 \times 20 = 200V$$

או:

$$_{\text{צר}}U = U - {}_{\text{קו}}U = 220 - 20 = 200V$$

דוגמא: בציור ח'14 מופיע מעגל טורי בן ארבעה נגדים R_1 R_2 R_3 R_4.
מה יציין וולטמטר, אם נחברו פעם אחת בין הנקודות D ו- E , פעם שנייה בין הנקודות C ו- E ופעם שלישית בין הנקודות B ו- E ?
מהו מתח המקור ?



ציור ח'14

$$U_{ED} = IR_4 = 0.5 \times 1 = 0.5V$$

$$U_{EC} = I\ (R_3+R_4) = 0.5 \times 6 = 3V$$

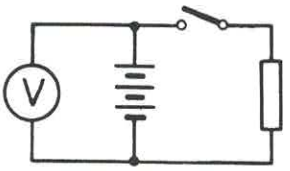
$$U_{EB} = I\ (R_2+R_3+R_4) = 0.5 \times 8 = 4V$$

$$U = U_{EA} = I\ (R_1+R_2+R_3+R_4) = 0.5 \times 12 = 6V$$

אנו רואים, כי: מתח המקור מתחלק בין נגדים, המחוברים בטור, ביחס ישר להתנגדות. ככל שהתנגדות הנגד גבוהה יותר, מפל המתח עליה יהיה גבוה יותר.

הכוח-האלקטרו-מניע (כא"מ)

נבנה מעגל חשמלי הכולל: סוללה, נגד, וולטמטר ומפסק כמתואר בציור ח'15.



ציור ח'15

כאשר המפסק פתוח, מציין הוולטמטר מתח כלשהו. ברגע שסוגרים את המפסק, יציין הוולטמטר מתח נמוך יותר. ברור, אם כן, שברגע שסוגרים את המפסק ובמעגל זורם זרם, קיים מפל מתח. השאלה הנשאלת היא על גבי איזה נגד נופל המתח?

לכל מקור מתח "ה ת נ ג ד ו ת פ נ י מ י ת" (r). כל עוד אין זורם זרם במעגל, אין מפל מתח מופיע על גבי ההתנגדות הפנימית של המקור, והוולטמטר מציין את המתח במעגל פתוח, הקרוי "כ ו ח - א ל ק ט ר ו - מ נ י ע", אותו נוהגים לסמן באות (E). הכוח-האלקטרו-מניע (כא"מ) הוא המתח המירבי של מקור מתח. ברגע שסוגרים את המפסק ובמעגל זורם זרם, מקבלים "מ פ ל מ ת ח פ נ י מ י" (ΔU) במקור, ומסיבה זו הוולטמטר מציין מתח נמוך יותר הקרוי "מ ת ח ה ד ק י ם" (U).

לפי חוק קירכהוף, האומר, שמתח המקור במעגל טורי שווה לסכום מפלי המתח, נוכל לרשום:

$$\boxed{E = U + \Delta U}$$

E : הכא"מ של מקור המתח [V]

U : מתח ההדקים של המקור (או מפל המתח במעגל) [V]

ΔU : מפל המתח הפנימי [V]

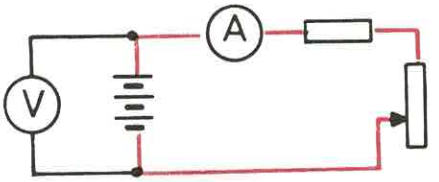
מנוסחא זו נוכל להפיק נוסחא נוספת, באמצעותה ניתן לחשב את מתח ההדקים של המקור, כאשר ידועים הכא"מ ומפל המתח הפנימי:

$$\boxed{U = E - \Delta U}$$

דוגמא: הכא"מ של מצבר הוא 12.2 וולט ומפל המתח הפנימי, בזרם מסוים, הוא 0.2 וולט. חשב את מתח ההדקים.

$$U = E - \Delta U = 12.2 - 0.2 = 12V$$

נבנה עתה מעגל אחר, הכולל: סוללה נגד קבוע, נגד משתנה, וולטמטר ואמפרמטר (ציור ח'16).



ציור ח'16

על-ידי הזזת הזחלן של הנגד המשתנה (ראוסטט) אנו משנים את ההתנגדות השקולה של המעגל וכתוצאה מכך משתנה גם הזרם במעגל. ניווכח, כי מתח ההדקים של הסוללה, הנמדד באמצעות הוולטמטר, תלוי בעוצמת הזרם הזורם במעגל, וככל שעוצמת הזרם גדולה יותר, כן יקטן מתח ההדקים. הסיבה לכך היא מפל המתח הפנימי בסוללה, התלוי בעוצמת הזרם. ככל שעוצמת הזרם במעגל תהיה גדולה יותר, כן יגדל גם מפל המתח הפנימי.

לפי חוק אום:

$$\boxed{\Delta U = Ir}$$

ΔU : מפל המתח הפנימי

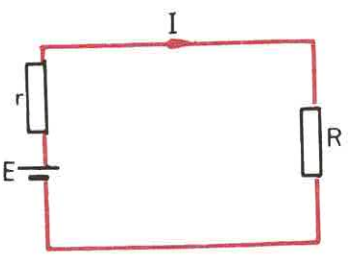
I : עוצמת הזרם במעגל

r : ההתנגדות הפנימית של המקור.

אם נציב ביטוי זה בתוך הנוסחא $U=E-\Delta U$ נקבל:

$$\boxed{U = E - Ir}$$

ניתן לראות את ההתנגדות הפנימית של המקור, כאילו היא מחוברת בטור עם המקור (ציור ח'17).



ציור ח'17

עוצמת הזרם I במעגל תהיה: $I = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R + r}$

מפל המתח הפנימי ΔU יהיה: $\Delta U = Ir = \frac{Er}{R + r}$

ומפל המתח על גבי R (מתח ההדקים של הסוללה) $U = IR = \frac{ER}{R + r}$

דוגמא: סוללה בעלת כא"מ של 6 וולט והתנגדות פנימית של 0.1 אום, מפעילה צרכן, שהתנגדותו 2.9 אום. חשב:

א) את עוצמת הזרם במעגל.

ב) את מפל המתח הפנימי.

ג) את המתח על גבי הצרכן (מתח ההדקים של הסוללה).

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R + r} = \frac{6}{2.9 + 0.1} = \frac{6}{3} = 2A$$

$$\Delta U = Ir = 2 \times 0.1 = 0.2V$$

$$U = IR = 2 \times 2.9 = 5.8V$$

או: $U = E - \Delta U = 6 - 0.2 = 5.8V$

ננסח עתה את חוק קירכהוף בצורה כללית יותר:

<u>סכום מפלי המתח, במעגל טורי, שווה לכא"מ של המקור.</u>

$$\boxed{E = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots}$$

ראינו, כי מפל המתח הפנימי במקור-מתח מחושב באמצעות הנוסחא $\Delta U = Ir$.
מזה נובע: ככל שהתנגדותו הפנימית של מקור גבוהה יותר, יהיה גם מפל המתח הפנימי גבוה יותר, וככל שההתנגדות הפנימית נמוכה יותר, יהיה גם מפל המתח הפנימי נמוך יותר.

במקרים מסוימים - ההתנגדות הפנימית של המקור היא כה נמוכה, שמזניחים אותה; במקרה זה מניחים כי מתח-ההדקים של המקור שווה לכא"מ שלו.

ההספק במעגל טורי

ההספק, הנצרך על-ידי נגד כלשהו, בעל התנגדות R , הנתון במעגל טורי, יהיה: $P = I^2R$.

ההספק הנצרך על ידי המעגל בשלמותו יהיה $P = I^2R_T$ או:

$$P = I^2 (R_1 + R_2 + R_3 + \ldots) = I^2R_1 + I^2R_2 + I^2R_3 + \ldots$$

אנו רואים כי: <u>ההספק, הנצרך על-ידי מעגל טורי, שווה לסכום ההספקים, הנצרכים על-ידי הצרכנים הבודדים.</u>

דוגמא: דרך שני נגדים $R_2=20\Omega$ $R_1=10\Omega$, המחוברים בטור, זורם זרם בעוצמה של 3 אמפר.

חשב את ההספק, הנצרך על-ידי כל אחד מהנגדים, ואת ההספק, הנצרך על-ידי המעגל.

$$P_1 = I^2R_1 = 3^2 \times 10 = 9 \times 10 = 90W$$

$$P_2 = I^2R_2 = 3^2 \times 20 = 9 \times 20 = 180W$$

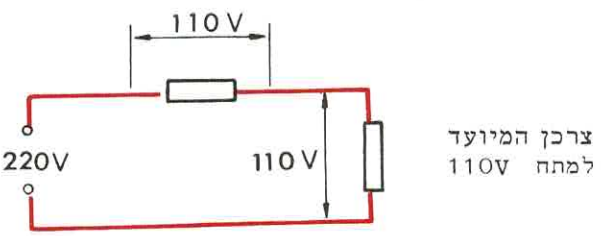
$$P = P_1 + P_2 = 90 + 180 = 270W$$

או: $$P = I^2R_T = I^2(R_1+R_2) = 3^2(10+20) = 9 \times 30 = 270W$$

שימושים בחיבור טורי

א) הפלת מתח

אחד השימושים העיקריים הוא הפלת מתח מיותר. אם ברשותנו צרכן כלשהו, המיועד למתח נמוך ממתח הרשת, מחברים אליו נגד בחיבור טורי, אשר מתפקידו להפיל את המתח העודף, באופן שמפל המתח על-פני הצרכן ישוחה למתח אליו הוא מיועד (ציור ח'18).

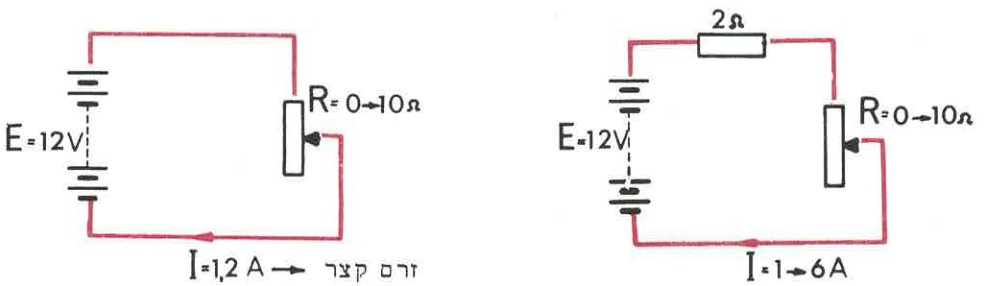


ציור ח'18

ב) הגבלת זרם

כאשר מעוניינים להגביל את הזרם במעגל ואין מעוניינים שעוצמתו תעלה מעל ערך מסוים, נוהגים להשתמש בנגד טורי.

בציור ח'19 מופיע תרשים של ראוסטט, המחובר למצבר ל-12 וולט. את ההתנגדות של ראוסטט זה ניתן לשנות מ-10 אום ועד לאפס.



ציור ח'19

במצב אפס, הקרוי "ק צ ר", יזרום במעגל זרם בעל עוצמה חזקה מאד, הקרוי "ז ר ם ק צ ר", והמצבר עלול להינזק.

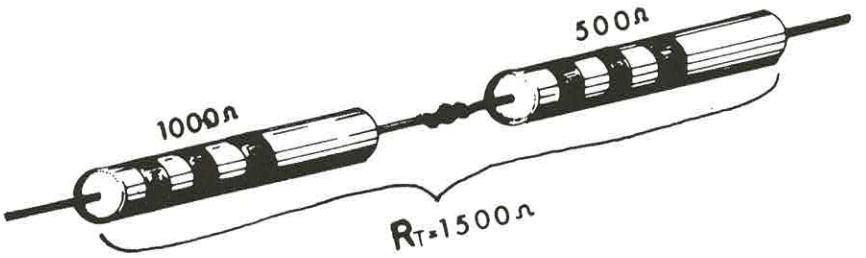
אם אנו מעוניינים להגביל את הזרם במעגל ולקבוע, שהזרם המירבי במעגל לא יעלה על 6 אמפר, עלינו לשלב במעגל נגד טורי שהתנגדותו 2 אום. במצב זה, כאשר הראוסטט מכוון לאפס התנגדות, תהיה עוצמת הזרם במעגל 6 אמפר. כאשר הראוסטט מכוון ל-10 אום, עוצמת הזרם במעגל תהיה (בהזנחת ההתנגדות הפנימית של המצבר):

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{10 + 2} = \frac{12}{12} = 1A$$

ג) הגדלת התנגדות של נגד

נניח, שאנו זקוקים לנגד, שהתנגדותו 1500 אום, אך ברשותנו נגדים של 1000 אום ושל 500 אום.

במקרה זה אנו מחברים בטור נגד של 1000 אום ונגד של 500 אום (ציור ח'20).



ציור ח'20

ד) חיבור נוריות לקישוט או פרסומת

לעיתים מתעורר הצורך לחבר נוריות רבות לצורך קישוט או פרסומת. במקום לחבר נוריות המיועדות למתח נמוך, לסוללה בחיבור מקביל, ניתן לחברן בטור לרשת. לדוגמא, ניתן לחבר 55 נוריות, אשר כל אחת מהן מיועד למתח בשיעור 4 וולט, בטור לרשת של 220 וולט.

במקרה זה, מפל המתח על כל נורית יהיה 4 וולט והן תפעלנה כראוי.

לחיבור מעין זה חיסרון גדול. די שנורית אחת תצא מכלל פעולה, על מנת שכל הנוריות לא תפעלנה, בהיותן מחוברות בחיבור טורי.

ה) שימוש בנורות המיועדות ל-110 וולט

כפי שכבר ראינו, משתמשים בארה"ב בצרכנים, המיועדים למתח 110 וולט, הואיל ומתח הרשת באה"ב הוא 110 וולט.

מתח הרשת בארצנו הוא 220 וולט. השאלה הנשאלת היא, כיצד נוכל להשתמש בארצנו בנורות, המיועדות למתח 110 וולט.

הפתרון נראה פשוט, לכאורה, והוא: לחבר שתי נורות בטור. אך יש לקחת בחשבון, במקרה זה, ששתי הנורות חייבות להיות בעלות אותה התנגדות, על מנת שמפלי המתח עליהן יהיו שווים. אם התנגדותן שונה, יהיו מפלי המתח עליהן שונים - אחת הנורות תופעל במתח גבוה מ-110 וולט ותשרף.

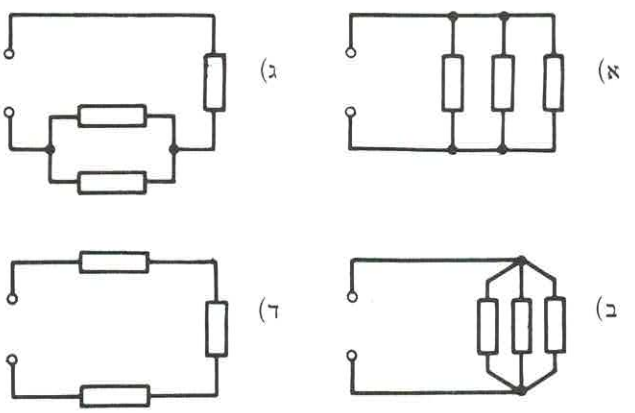
נורות בעלות התנגדות שוה הן אלה שהן בעלות הספק שוה; אי לכך, בחברנו נורות, המיועדות למתח 110 וולט, בטור למתח 220 וולט, עלינו לבדוק תחילה אם הספקן שוה.

שאלות סיכום ובעיות לפרק ח

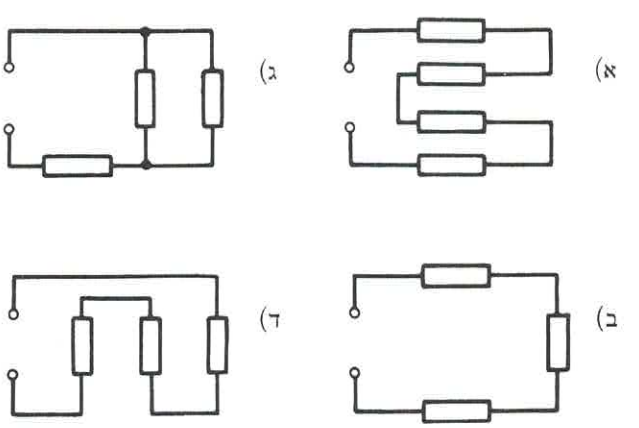
בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות המצויות בסוף הספר כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ח' 1) באיזה מהתרשימים הבאים מופיע חיבור טורי של נגדים?



ח' 2) באיזה מהתרשימים הבאים החיבור אינו טורי?



ח׳3) בחיבור טורי של נגדים:

א) עובר זרם בעל אותה עוצמה בכל הנגדים.

ב) עוצמת הזרם בכל נגד נמצאת ביחס ישר להתנגדותו.

ג) עוצמת הזרם בכל נגד נמצאת ביחס הפוך להתנגדותו.

ד) עובר זרם בעל עוצמה שונה בכל אחד מהנגדים.

ח׳4) אם עוצמת הזרם, במעגל חשמלי, שווה בכל נקודה ונקודה, המעגל הוא:

א) מעגל זרם ישר.

ב) מעגל זרם חילופין.

ג) מעגל טורי.

ד) מעגל מקבילי.

ח׳5) בחיבור נגדים בטור:

א) הנגד שהתנגדותו גבוהה ביותר מקבל עוצמת זרם חזקה ביותר.

ב) הנגד שהתנגדותו נמוכה ביותר מקבל עוצמת זרם חזקה ביותר.

ג) הנגד הקרוב ביותר למקור מקבל את עוצמת הזרם החזקה ביותר.

ד) עוצמת הזרם שווה בכל הנגדים.

ח׳6) על מנת שצרכנים, המחוברים בטור, יפעלו כראוי, הם חייבים להיות:

א) מותאמים לאותו מתח.

ב) מותאמים לאותה עוצמת זרם.

ג) בעלי התנגדות שווה.

ד) מבודדים היטב.

ח׳7) ההתנגדות השקולה של מעגל טורי שווה ל-:

א) סכום ההתנגדויות במעגל.

ב) סכום היחסים ההפוכים של ההתנגדויות במעגל.

ג) סכום הריבועים של ההתנגדויות במעגל.

ד) התנגדות הגבוהה ביותר המצויה במעגל.

ח׳8) אם נוסיף נגד נוסף למעגל טורי של נגדים, ההתנגדות השקולה:

א) תקטן.

ב) תגדל.

ג) לא תשתנה.

ד) תלוי בגודל ההתנגדות.

ח'9) אם נוסיף נגד נוסף במעגל טורי, הזרם במעגל:

א) לא ישתנה.
ב) יגדל.
ג) יקטן.
ד) תלוי בהתנגדות הנגד.

ח'10) המונח המקובל לציון הפסדי מתח הוא:

א) הפסד פוטנציאלים.
ב) הפרש פוטנציאלים.
ג) הפרש מתח.
ד) מפל מתח.

ח'11) מפל מתח על פני התנגדות הוא:

א) הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות.
ב) ירידת המתח בין שתי נקודות.
ג) שיעור המתח המזרים זרם דרך אותה התנגדות.
ד) ירידת מתח המקור.

ח'12) מפל המתח על פני נגד, במעגל טורי, נמצא:

א) ביחס ישר לעוצמת הזרם, הזורם דרך הנגד, וביחס ישר להתנגדותו.
ב) ביחס ישר לעוצמת הזרם, הזורם דרך הנגד, וביחס הפוך להתנגדותו.
ג) ביחס ישר להתנגדותו וביחס הפוך לעוצמת הזרם הזורם דרכו.
ד) ביחס הפוך להתנגדותו וביחס הפוך לעוצמת הזרם הזורם דרכו.

ח'13) חוק מפלי המתח לקירכהוף קובע כי:

א) עוצמת הזרם במעגל נמצאת ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות.
ב) סכום מפלי המתח, במעגל טורי, שווה למתח המקור.
ג) סכום מפלי המתח, במעגל מקבילי, שווה למתח המקור.
ד) מפל המתח בנגד נמצא ביחס ישר לעוצמת הזרם וביחס ישר להתנגדות.

ח'14) סכום מפלי המתח במעגל טורי שווה ל-:

א) מכפלת עוצמת הזרם, בהתנגדות הנמוכה ביותר במעגל.
ב) מפל המתח הפנימי במקור המתח.
ג) מתח המקור.
ד) סכום הריבועים של עוצמות הזרמים כפול ההתנגדות השקולה.

ח'15) בחיבור נגדים בטור מתחלק המתח בין הנגדים:

א) ביחס ישר להתנגדויות.
ב) ביחס הפוך להתנגדויות.
ג) בחלקים שווים.
ד) ביחס ישר לזרם במעגל.

ח'16) מפל המתח על פני נגד, הנתון במעגל טורי:

א) נמצא ביחס ישר להתנגדות.
ב) נמצא ביחס הפוך להתנגדות.
ג) גדל עם גדול ההתנגדות, אך לא ביחס ישר.
ד) תלוי בהתנגדות, אך ללא יחס כלשהו.

ח'17) כח-אלקטרו-מניע הוא:

א) המתח, השורר בין הדקיו של מקור מתח, בשעה שהתנגדות הצרכן גבוהה מאד.
ב) המתח, השורר בין הדקיו של מקור מתח, בשעה שהמעגל שלו פתוח.
ג) כוח חשמלי, המניע מכונות חשמל.
ד) הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במעגל חשמלי.

ח'18) מתח במעגל פתוח הוא:

א) כוח-אלקטרו-מניע.
ב) הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות - במעגל.
ג) מתח המצבר, בשעה שצורכים ממנו עוצמת זרם חזקה.
ד) הפרש כוחות-אלקטרו-מניעים.

ח'19) יחידת הכא"מ היא:

א) אום.
ב) וט.
ג) וולט.
ד) אמפר.

ח'20) התנגדות פנימית של מקור מתח היא:

א) ההתנגדות לזרימת זרם דרך המקור.
ב) ההתנגדות, המישתנה בהתאם לעוצמת הזרם.
ג) ההתנגדות, המונעת קילקולו המהיר של המקור.
ד) ההתנגדות, המופיעה במקור בשעה שהמעגל פתוח.

ח' 21) ההתנגדות השקולה של מעגל טורי נקבעת בעיקר על-ידי :

א) הקווים.
ב) מקור המתח.
ג) המפסקים.
ד) הצרכנים.

ח' 22) **מפל מתח פנימי במקור מתח הוא:**

א) המתח, המזרים זרם דרך המעגל.
ב) המתח, הנופל בהזרימו זרם דרך ההתנגדות הפנימית של המקור.
ג) הפרש הפוטנציאלים בין הדקיו של המקור.
ד) הכח-האלקטרו-מניע הנוצר במקור.

ח' 23) **מתח ההדקים של מקור מתח שווה לכוח-האלקטרו-מניע כאשר:**

א) המעגל פתוח ואין זורם בו זרם חשמלי.
ב) ההתנגדות הפנימית של המקור אינה גבוהה במיוחד.
ג) ההתנגדות הפנימית של המקור גבוהה מאד.
ד) בשום מקרה אין מתח ההדקים שווה לכוח-האלקטרו-מניע.

ח' 24) **כאשר מחברים מד-מתח להדקיו של מקור מתח, שאינו מחובר במעגל, יציין מד המתח:**

א) את מתח ההדקים הנמוך מהכוח-האלקטרו-מניע.
ב) את הכוח-האלקטרו-מניע.
ג) את מפל המתח הפנימי.
ד) אם המקור עדיין שמיש או הוא כבר פגום.

ח' 25) **עם חיבור עומס להדקי סוללה, מתח ההדקים:**

א) יהיה גבוה מהמתח במעגל פתוח.
ב) יהיה נמוך מהמתח במעגל פתוח.
ג) ישווה למתח במעגל פתוח.
ד) ירד תחילה, ובהדרגה יחזור וישווה למתח במעגל פתוח.

ח'26) **סוללה מזינה צרכן בעל התנגדות משתנה. אם תגדל התנגדות הצרכן:**

א) יעלה המתח בין הדקי הסוללה.

ב) ירד המתח בין הדקי הסוללה.

ג) בהתחלה יעלה עד לערך מסוים, ואז יתחיל לרדת.

ד) מתח ההדקים אינו תלוי בהתנגדות המעגל החיצוני.

ח'27) **ההתנגדות הפנימית של מקור מתח מופיעה:**

א) במקביל עם המקור.

ב) בטור עם המקור.

ג) לעיתים בטור ולעיתים במקביל.

ד) אין חשיבות לדבר.

ח'28) **לחישוב מתח ההדקים של מקור מתח ניעזר בנוסחא:**

א) $E = U - \Delta U$

ב) $U = E - \Delta U$

ג) $U = E + \Delta U$

ד) $\Delta U = E + U$

ח'29) **במעגל טורי מוסיפים נגד נוסף בטור. הכא"מ של המקור:**

א) יעלה.

ב) ירד.

ג) יישאר ללא שינוי.

ד) תלוי בערך ההתנגדות שנוספה.

ח'30) **במעגל טורי מוסיפים נגד נוסף בטור. מתח ההדקים של המקור:**

א) יעלה.

ב) ירד.

ג) יישאר ללא שינוי.

ד) תלוי בערך ההתנגדות שנוספה.

ח'31) **אם מרציאים את אחד הנגדים ממעגל טורי, הכא"מ של המקור:**

א) יעלה.

ב) ירד.

ג) יישאר ללא שינוי.

ד) תלוי בהתנגדות השקולה.

ח'32) **אם מרציאים את אחד הנגדים ממעגל טורי, מתח ההדקים של המקור:**

א) יעלה.

ב) ירד.

ג) יישאר ללא שינוי.

ד) תלוי בהתנגדות השקולה.

ח'33) מקור מתח מספק זרם מירבי, כאשר:

א) ההתנגדות השקולה של המעגל היא גבוהה ביותר.

ב) ההתנגדות השקולה של המעגל היא נמוכה יחסית.

ג) התנגדות המעגל היא אפס.

ד) המעגל פתוח.

ב ע י ו ת

ח'1) 4 נגדים: $R_1=10\Omega$, $R_2=16\Omega$, $R_3=26\Omega$, $R_4=30\Omega$, מחוברים בטור?
חשב את ההתנגדות השקולה.

ח'2) 3 נגדים: $R_1=1.7\Omega$, $R_2=2.3\Omega$ ו- R_3 , מחוברים בטור. ההתנגדות השקולה היא 7.6 אום. חשב את R_3 .

ח'3) מעגל טורי מורכב משני נגדים $R_1=34\Omega$ ו- $R_2=68\Omega$. איזה נגד יש להוסיף בטור, אם מעוניינים להגדיל את ההתנגדות השקולה ל-132 אום?

ח'4) במעגל טורי שלושה נגדים: R_1 , $R_2 = 2R_1$, $R_3 = 3R_1$.
חשב את הערכים של ההתנגדויות, אם ההתנגדות השקולה שלהם היא 72 אום.

ח'5) שני גופי החימום, של תנור חשמלי, מחוברים פעם בטור ופעם במקביל. התנגדות הראשון 20 אום והתנגדות השני 30 אום.
חשב את ההתנגדות השקולה בכל אחד מהמצבים.

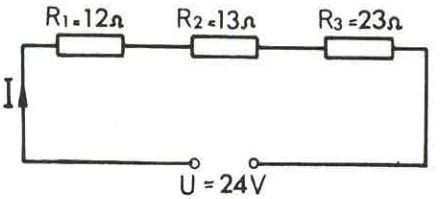
ח'6) התנגדותם השקולה של שני נגדים בטור היא 50 אום. ההתנגדות השקולה של אותם הנגדים בהיותם מחוברים במקביל היא 8 אום. חשב את ערכם.
הדרכה: הרכב שתי משוואות בשני נעלמים.

ח'7) חשב את ההתנגדות השקולה של שלושה נגדים בני 12 אום בהיותם מחוברים בטור.

ח'8) התנגדותם השקולה של 10 נגדים שווים בטור היא 70 אום. חשב את ערכו של כל נגד.

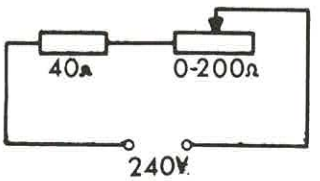
ח'9) ההתנגדות השקולה של מעגל טורי היא 24 אום. כמה נגדים שווי התנגדות של 5 אום, עליך להוסיף בטור על מנת שההתנגדות השקולה תהיה 64 אום.

ח'10) חשב את עוצמת הזרם הזורם במעגל, המופיע בתרשים ח'21.



ציור ח'21

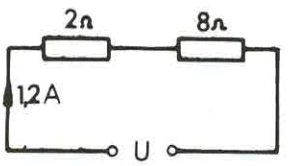
ח'11) מהי עוצמת הזרם שתזרום במעגל המופיע בתרשים ח'22, בשני המצבים הקיצוניים של הנגד המשתנה?



ציור ח'22

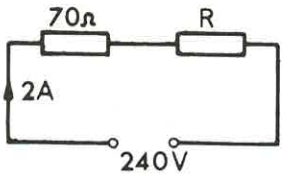
ח'12) א) חשב את מתח המקור במעגל המופיע בתרשים ח'23.

ב) מה תהיה עוצמת הזרם, אם נוסיף נגד נוסף של 6 אום בטור?



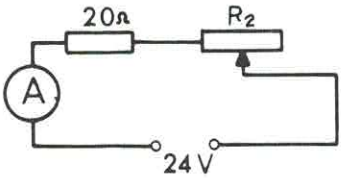
ציור ח'23

ח'13) חשב את ערכו של הנגד R, המופיע בתרשים ח'24.



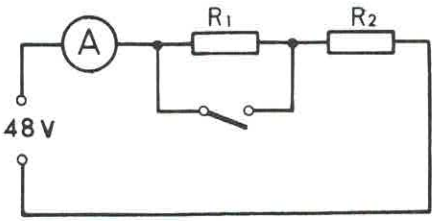
ציור ח'24

ח'14) עוצמת הזרם במעגל, שבתרשים ח'25, משתנה בתחום 0.4-1.2A כתוצאה משינוי ההתנגדות של הראוסטט R_2 . חשב את התנגדותו המירבית של הראוסטט.



ציור ח'25

ח'15) כאשר המפסק בתרשים ח'26 סגור, מד-הזרם מציין 0.5A, ובהיותו פתוח מד-הזרם מציין 0.2A . חשב את הערכים של הנגדים R_1 ו- R_2 .

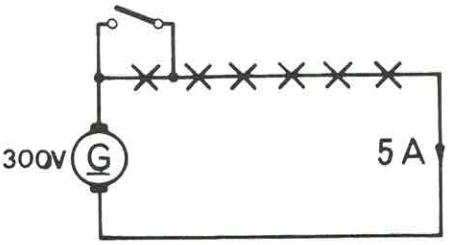


ציור ח' 26

ח'16) שש נורות שוות התנגדות מחוברות בטור אל מקור מתח, כמתואר בתרשים ח'27.

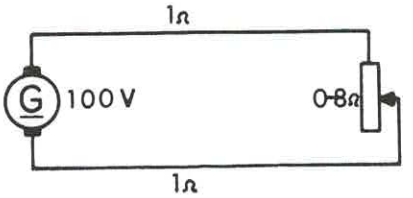
א) מה תהיה עוצמת הזרם במעגל, אם נסגור את המפסק?

ב) מה צריך להיות מתח המקור על מנת שיזרום במעגל זרם בעל אותה עוצמה, שחישבת בחלק א', כאשר מחוברות ארבע נורות בלבד?



ציור ח' 27

ח'17) מחולל של 100 וולט מפעיל צרכן בעל התנגדות משתנה באמצעות קו, שהתנגדות כל מוליך שלו היא 1 אום (ציור ח'28). חשב את עוצמת הזרם במעגל בשני המצבים הקיצוניים של הצרכן.



ציור ח' 28

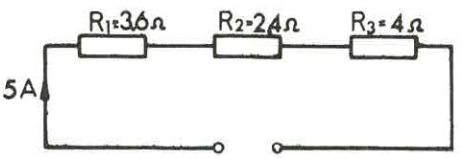
ח'18) תנור חשמלי בנוי שני גופי חימום שווי התנגדות. בהיותם מחוברים בטור, הם צורכים 8 אמפר. מהו הזרם הנצרך בהיותם מחוברים במקביל?

ח'19) צרכן, שהתנגדותו 1.5 אום, מחובר למקור מתח של 8 וולט. מהו ערך הנגד, שיש להוסיף בטור לצרכן כדי להגביל את עוצמת הזרם במעגל ל-2 אמפר.

ח'20) צרכן, שהתנגדותו 15 אום, מיועד לזרם בעוצמה של 8 אמפר. איזה נגד יש לחבר בטור לצרכן כדי להפעילו באמצעות מקור מתח של 220 וולט?

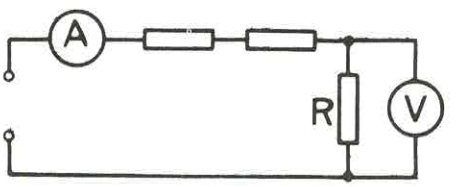
ח'21) נתונים שלושה נגדים R_1 R_2 R_3. אם מחברים את הנגדים R_1 R_2 בטור למקור מתח של 24 וולט, הזרם במעגל הוא בעוצמה של 0.8A. כאשר מחברים את R_2 R_3 בטור לאותו מקור, הזרם במעגל הוא בעוצמה של 0.48 אמפר, וכאשר מחוברים R_1 R_3, עוצמת הזרם היא 0.6 אמפר.
חשב את ערכי הנגדים R_1 R_2 R_3.

ח'22) חשב את מפלי המתח על גבי הנגדים R_1 R_2 R_3, המופיעים בתרשים ח'29.



ציור ח'29

ח'23) מד-הזרם, המופיע בתרשים שבציור ח'30, מציין 3.2A, ומד המתח מציין 51.2V.
חשב את ערך הנגד R.



ציור ח'30

ח'24) חשב את מפל המתח על פני מוליך נחושת, שאורכו 1000 מ' ושטח החתך שלו 6 ממ"ר, אם עוצמת הזרם הזורם דרכו היא 2 אמפר.

ח'25) קו חשמלי באורך 200 מטר, עשוי שני מוליכי נחושת בעלי שטח חתך של 4 ממ"ר.
חשב את מפל המתח בקו ואת הפסדי ההספק, אם עוצמת הזרם בקו היא 2 אמפר.

ח'26) סליל מלופף תיל נחושת, שאורכו 50 מטר ושטח חתכו 0.3 ממ"ר.
חשב את מפל המתח בסליל ואת ההספק הנצרך על-ידו, אם עוצמת הזרם הזורם דרכו היא 0.5 אמפר.

ח'27) שני נגדים $R_1 = 200\Omega$ $R_2 = 300\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח של 100 וולט.
חשב את מפל המתח על גבי כל אחד מהנגדים.

ח'28) בציור ח'31 נתון:

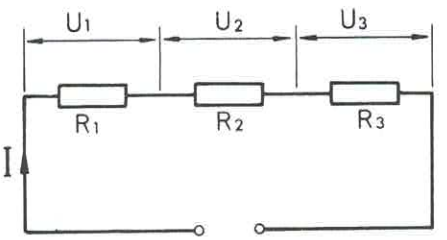
$U_3 = 20V$

$U_2 = 17.5V$

$R_1 = 4.5\Omega$

$I = 5A$

חשב: U_1 R_2 R_3



ציור ח'31

ח'29) שלושה נגדים $R_1=10\Omega$ $R_2=15\Omega$ $R_3=25\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח של 220 וולט. חשב את מפל המתח על פני כל נגד.

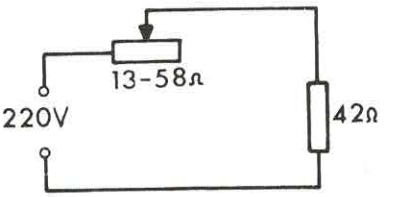
ח'30) צרכן, בעל התנגדות של 4 אום, מחובר למקור של 230 וולט באמצעות קו בעל שני מוליכים. התנגדות כל מוליך 0.3 אום. חשב את עוצמת הזרם, הזורם דרך הצרכן, ואת מפל המתח עליו.

ח'31) גנרטור של 1000 וולט מחובר בטור עם ארבעה צרכנים בעלי התנגדויות:
$R_1=50\Omega$ $R_2=100\Omega$ $R_3=25\Omega$ $R_4=25\Omega$
חשב את מפל המתח על גבי כל אחד מהצרכנים.

ח'32) על מוליך נחושת בעל שטח חתך של 18 ממ"ר ואורך 2 ק"מ, נופל מתח של 100 וולט. חשב את עוצמת הזרם במוליך.

ח'33) באמצעות הראוסטט, המופיע בתרשים שבציור ח'32, משנים את עוצמת הזרם במעגל, וכתוצאה מכך משתנה גם מפל המתח בצרכן.

חשב את מפל המתח בצרכן בשני המצבים הקיצוניים של הראוסטט.



ציור ח'32

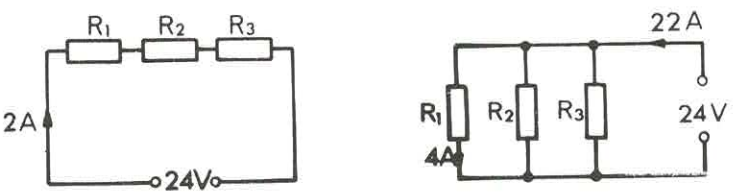
ח'34) מפל המתח על **נורת להט** הוא 220 וולט, ועוצמת הזרם **דרכה** היא 0.26 אמפר. חשב **את התנגדות** הנורה בטמפרטורת **העבודה**.

ח'35) ההתנגדות השקולה **של שני נגדים** בטור היא 50000 אום. מה התנגדותו **של כל נגד**, אם בהיותם מחוברים **בטור**, **למקור** מתח של 500 וולט, מפלי המתח על הנגדים הם 200 וולט ו-300 **וולט**?

ח'36) עומס, הצורך זרם **בעוצמה של** 10 אמפר, מוזן מגנרטור של 290 וולט. מהי התנגדות הקו, אם **המתח על-גבי** העומס הוא 220 וולט?

ח'37) שני נגדים R_1 ו- R_2 **מחוברים בטור** למקור מתח של 200 וולט. מפל המתח על R_1 הוא 50 וולט ועוצמת **הזרם במעגל** היא 1 אמפר. חשב את R_1 ואת R_2.

ח'38) לפי הנתונים שבציור **ח'33 חשב:** R_1 R_2 R_3. שים לב לכך, שבאחד המעגלים מחוברים הנגדים בטור **ובשני במקביל**.



ציור ח'33

ח'39) אורכו של קו נחושת בעל שני מוליכים הוא 200 מטר, ושטח החתך של כל מוליך הוא 4 ממ"ר. מקור מתח של 20 וולט מספק, באמצעות קו זה, אנרגיה חשמלית לצרכן שהתנגדותו 2.2 אום.
חשב את עוצמת הזרם בקו, את המתח בין הדקי הצרכן ואת מפל המתח בקו.

ח'40) שלושה נגדים R_1 R_2 R_3 מחוברים בטור למקור מתח של 220 וולט. עוצמת הזרם במעגל היא 2 אמפר ומפל המתח על גבי הנגד R_1 הוא 30 וולט.
חשב את התנגדויות הנגדים, אם ידוע, שהנגד R_2 גדול כפליים מהנגד R_3.

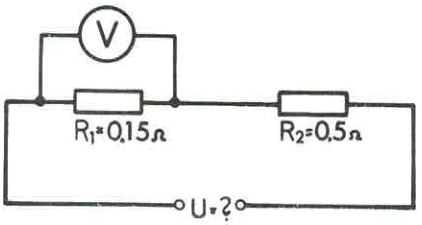
ח'41) צרכן, הנמצא בריחוק ממקור מתח של 220 וולט, צורך זרם בעוצמה של 50 אמפר, בהיותו מוזן באמצעות קו שהתנגדותו 1 אום.
א) חשב את מתח הצרכן.
ב) מה צריך להיות מתח המקור על מנת שמתח הצרכן יהיה 220 וולט.

ח'42) במעגל טורי מצויים שני נגדים בעלי התנגדויות של 10 אום ו-30 אום. מפל המתח על פני הנגד הראשון הוא 15 וולט. חשב את מפל המתח על פני הנגד השני.

ח'43) נגד, שהתנגדותו 2.5 אום, מחובר בטור עם נגד בלתי ידוע. מפל המתח על פני הנגד הידוע הוא 3.6 וולט ועל פני השני, 18 וולט.
חשב את ההתנגדות של הנגד הבלתי ידוע.

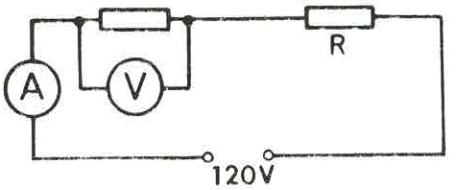
ח'44) מנוע חשמלי פועל במתח 220 וולט וצורך 20 אמפר.
חשב את התנגדות הקו, אם מתח המקור הוא 240 וולט.

ח'45) חשב את מתח המקור, המופיע בתרשים שבציור ח'34, אם מד-המתח מציין 3.9 וולט.



ציור ח'34

ח'46) חשב את ערכו של R , כאשר מד המתח מציין 30 וולט ומד הזרם מציין 0.3 אמפר (ציור ח'35).



ציור ח' 35

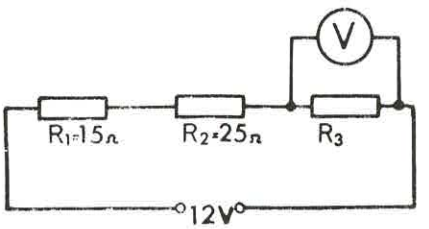
ח'47) בהתיחס לתרשים ח'36 חשב:

א) את עוצמת הזרם במעגל.

ב) את מפלי המתח על R_1 ו- R_2 .

ג) את ערך R_3 .

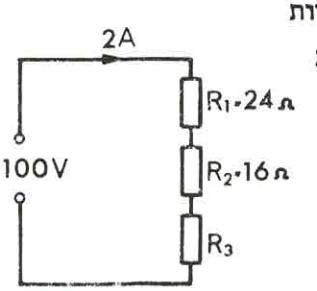
ידוע שמד-המתח במעגל מציין 8 **וולט.**



ציור ח' 36

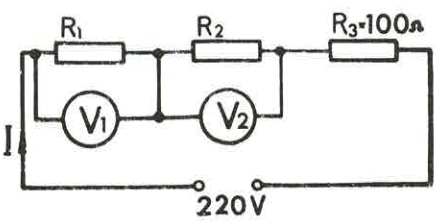
ח'48) שלושה נגדים: $R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$, $R_3=3\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח.
עוצמת הזרם במעגל היא 5 אמפר.
חשב את מפל המתח על כל נגד ואת מתח המקור.

ח'49) בהתיחס לתרשים שבציור ח'37 **חשב את ההתנגדות** השקולה של המעגל, את ההתנגדות **של R_3 ואת** מפלי המתח **על** שלשת הנגדים.



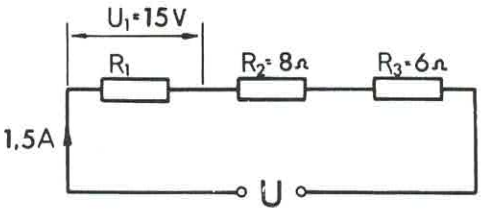
ציור ח' 37

ח'50) חשב את עוצמת הזרם במעגל **שבתרשים** ח'38.
מד המתח (V_1) **מציין** 100 **וולט**
ומד המתח (V_2) **מציין** 40 **וולט.**



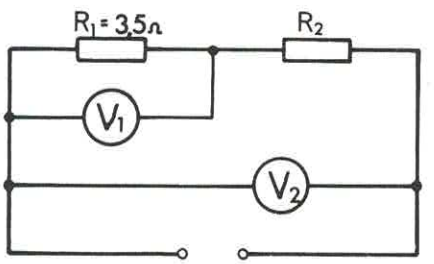
ציור ח'38

ח'51) בהתיחס לתרשים ח'39
חשב את מפלי המתח על
הנגדים R_2 ו- R_3 ואת
מתח המקור.



ציור ח'39

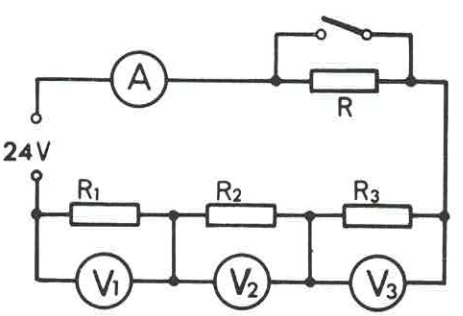
ח'52) בהתיחס לתרשים ח'40
חשב את ערך הנגד R_2 ,
כאשר מד-המתח (V_1)
מציין 7 וולט, ומד-המתח
(V_2) מציין 21 וולט.



ציור ח'40

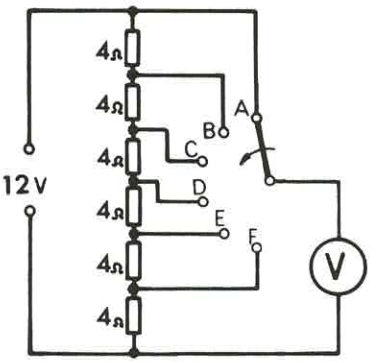
ח'53) עשר נורות, שהתנגדות
כל אחת מהן 10 אום,
מחוברות בטור למקור
מתח של 250 וולט. חשב את מפל המתח על כל נורה ואת ערצמת הזרם במעגל.

ח'54) מד-הזרם, בתרשים ח'41,
מציין 1.2 אמפר.
מדי-המתח מציינים:
$U_1=2.4V$ $U_2=3V$ $U_3=5.4V$
א) חשב את התנגדויות
הנגדים R R_1 R_2 R_3 .
ב) אילו מפלי מתח יציינו
מדי המתח, אם סוגרים
את המפסק.



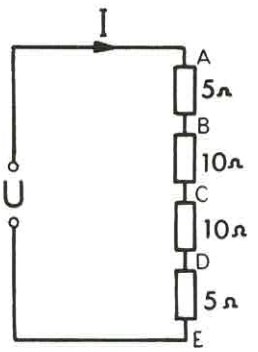
ציור ח'41

ח'55) את הוולטמטר שבתרשים ח'42 ניתן לחבר, באמצעות המפסק הסיבובי, לאחת הנקודות A, B, C, D, E, F מהו המתח שיציין הוולטמטר בכל אחד מהמצבים?



ציור ח'42

ח'56) בציור ח'43 מופיע מעגל טורי של 4 נגדים.



ציור ח'43

א) אם עוצמת הזרם במעגל היא $I = 2.2A$, חשב את מפלי המתח הבאים:

$U_{AB}, U_{BC}, U_{CD}, U_{DE}, U_{AC}, U_{BD}, U_{AD}, U_{AE}$

ב) אם מתח המקור הוא $U = 120V$ חשב את מפלי המתח:

U_{BC} , U_{AD}

ג) אם $U_{BC} = 17V$, חשב את מתח המקור ואת מפלי המתח U_{AB} U_{CD} U_{DE}

ח'57) צרכן בעל התנגדות $R = 10\Omega$ מחובר למקור מתח בעל התנגדות פנימית $r = 1\Omega$. חשב את הכא"מ, את מתח ההדקים של המקור ואת מפל המתח הפנימי, אם הזרם במעגל הוא $I = 5A$.

ח'58) מתח ההדקים של מקור הוא $U = 12V$ והתנגדותו הפנימית $r = 0.2\Omega$. אל המקור מחובר צרכן שהתנגדותו $R = 2\Omega$.
חשב את הכא"מ, את מפל המתח הפנימי ואת הזרם במעגל.

ח'59) גנרטור בעל התנגדות פנימית של 0.5 אום מספק זרם בעוצמה של 40 אמפר למערכת נורות בעלת התנגדות שקולה של 5.5 אום.
חשב את הכא"מ ואת מתח ההדקים של המקור.

ח'60) גוף חימום, שהתנגדותו 21 אום, מוזן מגנרטור בעל התנגדות פנימית של 0.5 אום, דרך קו שהתנגדותו 0.5 אום. גוף החימום צורך זרם בעוצמה של 5 אמפר.
א) חשב את הכא"מ של הגנרטור ואת מתח ההדקים שלו.
ב) איזו עוצמת זרם היה צורך גוף החימום, אילו חובר ישר להדקי הגנרטור?

ח'61) 15 גופי חימום, שהתנגדות כל אחד מהם 5 אום, מחוברים בטור לגנרטור שמתח הדקיו הוא 1600 וולט. מערכת גופי החימום מוזנת באמצעות קו שהתנגדותו 5 אום.
חשב את הכא"מ של הגנרטור, אם התנגדותו הפנימית 2.5 אום.

ח'62) צרכן שהתנגדותו 2.8 אום צורך זרם בעוצמה של 4 אמפר בהיותו ניזון ממקור מתח בעל כא"מ של 12 וולט.
חשב את מתח ההדקים ואת ההתנגדות הפנימית של המקור.

ח'63) צרכן בעל התנגדות R מחובר למצבר בעל כא"מ של 12 וולט ובעל התנגדות פנימית של 0.006 אום. חשב את מתח ההדקים של המצבר ואת התנגדות הצרכן, אם עוצמת הזרם במעגל היא 100 אמפר.

ח'64) נורת להט בעלת התנגדות עבודה של 455 אום מופעלת באמצעות מקור מתח בעל כא"מ של 230 וולט ובעל התנגדות פנימית של 5 אום.
חשב את עוצמת הזרם במעגל, את מתח הדקי המקור ואת מפל המתח הפנימי.

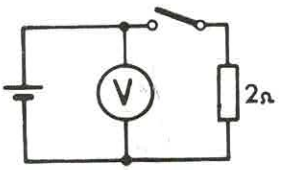
ח'65) נורת להט עליה רשום 6V/10W מופעלת באמצעות מצבר בעל כא"מ של 6 וולט ובעל התנגדות פנימית 0.2 אום. חשב את ההספק, הנצרך על-ידי הנורה.

ח'66) שני נגדים $R_1=30\Omega$ ו- $R_2=10\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח בעל כא"מ 220 וולט ובעל התנגדות פנימית 2 אום.
חשב את מפל המתח על כל אחד מהנגדים ואת מתח ההדקים של המקור.

ח'67) **גנרטור בעל כא"מ של 240 וולט ובעל התנגדות פנימית 1 אום, מספק אנרגיה חשמלית לצרכן בעל התנגדות 10 אום, דרך קו שהתנגדותו 1 אום.**
חשב את עוצמת הזרם בקו, את מתח ההדקים של המקור ואת מפל המתח על הצרכן.

ח'68) הכא"מ של מקור מתח הוא 230 וולט. כאשר מחברים אליו צרכן בעל התנגדות 20 אום, יורד מתח המקור ל-220 וולט.
חשב את עוצמת הזרם במעגל ואת התנגדותו הפנימית של המקור.

ח'69) בהתיחס לתרשים ח'44, כאשר המפסק פתוח - מד המתח מציין 2.2 וולט, וכאשר הוא סגור 2 וולט.
חשב את ההתנגדות הפנימית של התא.

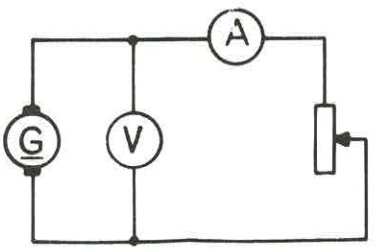


ציור ח'44

ח'70) כאשר צרכן בעל הספק 1 קילווט מחובר לגנרטור בעל התנגדות פנימית 0.5 אום, מתח ההדקים הוא 220 וולט. חשב את הכא"מ.

ח'71) איזו התנגדות תחבר לתא בעל כא"מ 2.1 וולט ובעל התנגדות פנימית 0.2 אום על מנת שמתח ההדקים שלו יהיה 2 וולט?

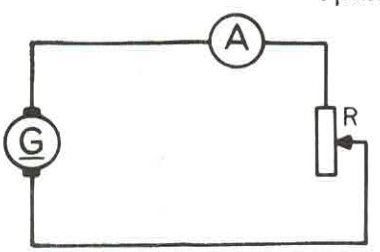
ח'72) בשני מצבים שונים של הראוסטט שבציור ח'45 התקבלו הקריאות הבאות במכשירי המדידה:
א) $U = 225V$ $I = 0.5A$
ב) $U = 220V$ $I = 10A$
חשב את הכא"מ של הגנרטור ואת התנגדותו הפנימית.



ציור ח'45

הדרכה: הרכב שתי משוואות בשני נעלמים והתר אותן.

ח'73) במעגל שבציור ח'46 כאשר $R = 2\Omega$ מקבלים $I=1.1A$ וכאשר $R = 10\Omega$ מקבלים $I=0.3A$.
חשב את ההתנגדות הפנימית של הגנרטור.



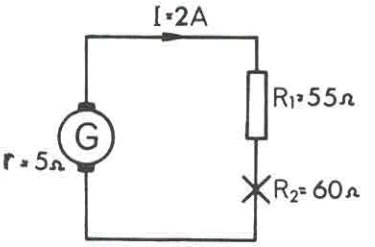
ציור ח'46

ח'74) 8 נורות בנות 4 אום מחוברות בטור למקור מתח באמצעות קו שהתנגדותו 1 אום.
מה צריך להיות הכא"מ של המקור, אם התנגדותו הפנימית 1 אום, כדי להבטיח שבמעגל יזרום זרם בעוצמה של 5 אמפר?

ח'75) אם מחברים מוליך, חסר התנגדות, בין הדקיו של תא בעל כא"מ של 1.5 וולט, זורם דרכו זרם בעוצמה של 25 אמפר. חשב את ההתנגדות הפנימית של התא.

ח'76) צרכן בעל הספק 2.2 קילווט נתון במתח 220 וולט, בהיותו מחובר למקור מתח בעל התנגדות פנימית 0.5 אום, באמצעות קו שהתנגדותו 1.5 אום.
חשב את הכא"מ של המקור.

ח'77) נורה ונגד מחוברים בטור למקור מתח,
כמתואר בציור ח'47. חשב:
א) את מפל המתח על הנורה.
ב) את מפל המתח על הנגד.
ג) את הכח האלקטרו מניע של המקור.
ד) את מתח ההדקים של המקור.



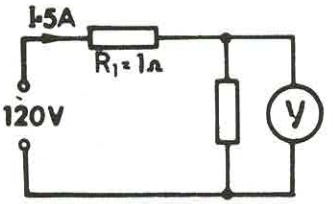
ציור ח'47

ח'78) מהו ההספק הנצרך על ידי נגד, שהתנגדותו 1.4 אום, בהיותו מחובר למקור מתח בעל כא"מ 6 וולט ובעל התנגדות פנימית 0.1 אום.

ח'79) נגד שהתנגדותו משתנה מתחום 0 – 3.8Ω מחובר למקור מתח בעל כא"מ של 6 וולט ובעל התנגדות פנימית 0.1 אום, דרך קו שהתנגדותו 0.1 אום.
חשב בשני המקרים הקיצוניים:
א) את עוצמת הזרם במעגל.
ב) את מתח ההדקים של המקור.
ג) את מפל המתח על הנגד המשתנה.

ח'80) צרכן בעל התנגדות 4 אום מחובר למקור מתח, בעל כא"מ 220 וולט ובעל התנגדות פנימית 0.1 אום, באמצעות קו נחושת בעל שטח חתך של 12 ממ"ר.
חשב את הזרם במעגל, את התנגדות הקו, את מתח ההדקים של המקור ואת אורך הקו, אם ידוע שעל הצרכן נופל מתח בשעור 200 וולט.

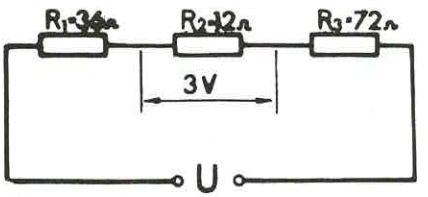
ח'81) בהתיחס לציור ח'48, חשב את ההספק, המתפזר בכל אחד מהנגדים.
איזה מתח יציין מד המתח.



ציור ח'48

ח'82) מתח ההדקים של גנרטור הוא 240 וולט בהזינו צרכן בזרם בעוצמה של 5 אמפר. חשב את הפסדי ההספק בקו, אם מפל המתח על הצרכן הוא 220 וולט.

ח'83) בהתיחס לתרשים ח'49 חשב את מפלי המתח על R_1 ו- R_3, את מתח המקור U, את ההספק המתפזר בכל נגד ואת ההספק הכללי, הנצרך על-ידי המעגל.

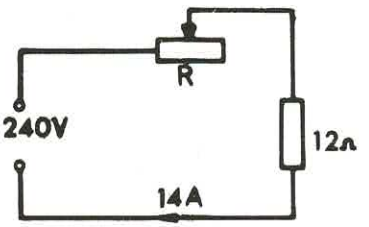


ציור ח'49

ח'84) כיריים המיועדים למתח 220 וולט בנויים שני גופי חימום שווי התנגדות מחוברים במקביל. הספק הכיריים הוא 1000 וט. מהו הספק הכיריים, כאשר גופי החימום מחוברים בטור.

ח'85) מנוע בעל הספק של 10 קילווט צורך זרם בעוצמה של 50 אמפר דרך קו בעל התנגדות של 1 אום. חשב את מתח המקור.

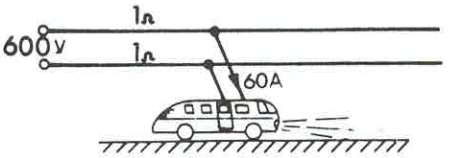
ח'86) לויסות ההספק של צרכן מחברים אליו נגד משתנה בטור, כמתואר בציור ח'50.
חשב את הספק הצרכן, את התנגדות הנגד המשתנה, במצב זה, ואת ההספק המתפזר בו.



ציור ח'50

ח'87) **טרוליבוס (אוטובוס בעל מנוע חשמלי)**

מוזן ממקור מתח של 600 וולט דרך קו.
בהיותו במרחק מסוים, ממקור המתח,
צורך המנוע זרם בעוצמה של 60 אמפר.
חשב את ההספק, הנצרך על-ידי המנוע,
ואת מפל המתח עליו, אם במצב זה -
התנגדות כל מוליך של הקו היא 1 אום (ציור ח' 51).



ציור ח' 51

ח'88) שני נגדים $R_1 = 4\Omega$ $R_2 = 6\Omega$ מחוברים פעם בטור ופעם במקביל לאותו מקור מתח. חשב את יחס ההספקים.

ח'89) מצבר בעל התנגדות פנימית של 0.2 אום, מפעיל צרכן שהתנגדותו 4 אום.
איזה אחוז מהאנרגיה מתבזבז בצורת חום בהתנגדות הפנימית של המצבר?

ח'90) בכירה שני גופי חימום $R_1 = 60\Omega$ $R_2 = 40\Omega$. באמצעות מפסק מיוחד ניתן לחבר כל גוף חימום בנפרד או לחברם בטור או במקביל.
חשב את הספק הכירה בארבעת המקרים, אם מתח הרשת הוא 220 וולט.

ח'91) שלושה נגדים R_1 R_2 R_3 מחוברים בטור למקור מתח של 220 וולט.
ההספק, הנצרך על ידי המעגל הוא 100 וט. חשב את ערכם של הנגדים ואת ההספק, הנצרך על ידי כל אחד מהם, אם נתון: $R_2 = 2R_1$ $R_3 = 2R_2$.

ח'92) צרכן צורך זרם בעוצמה של 2A בהיותו מחובר למתח 100 וולט. מהו הנגד הטורי, שיש לחבר לצרכן זה כדי להפעילו ממקור מתח של 200 וולט?

ח'93) צרכן שהתנגדותו 20 אום מחובר בטור עם ראוסטט 0-100Ω למתח 220 וולט.
חשב את תחום שינוי הזרם. לאיזו התנגדות מכוון הראוסטט כאשר הצרכן צורך הספק של 80 וט.

ח'94) צרכן צורך הספק של 12 קילווט בהיותו מוזן ממקור של 240 וולט דרך קו, שהתנגדות כל מוליך שלו היא 0.15 אום.
חשב את עוצמת הזרם בקו, את מפל המתח על העומס ואת ההספק המתפזר בקו.

ח'95) ההספק הנצרך מגנרטור הוא 60 קילווט. הצרכן מנצל 55.3 קילווט. מהו הפסד ההספק בקו, מהו מתח ההדקים של הגנרטור ומהו מפל המתח על הצרכן, אם התנגדות הקו היא 0.4 אום.

ח'96) כדי לחבר מגהץ 110V/220W לרשת 220 וולט, משתמשים בנגד טורי עשוי תייל בעל התנגדות סגולית של 0.5 אום-ממ"ר-למטר ושטח חתך 0.4 ממ"ר.
חשב את אורך התייל.

ח'97) שני צרכנים 400W/100Ω ו- 100W/100Ω מחוברים בטור. מהי עוצמת הזרם המירבית, שניתן להעביר במעגל מבלי שהצרכנים יינזקו?

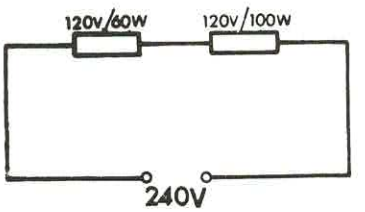
ח'98) מקלט רדיו, המיועד למתח 110 וולט וצורך זרם בעוצמה של 30 מיליאמפר, חובר לרשת 220 וולט באמצעות נגד טורי. חשב את ההתנגדות של הנגד הטורי ואת ההספק המתפזר על ידו.

ח'99) שתי נורות 110V/40W 110V/100W מחוברות בטור למתח 220 וולט.
מה יקרה לכל נורה?

ח'100) איזה נגד טורי תחבר לנורה 6V/3W כדי להפעילה ממצבר של 12 וולט?

ח'101) ארבעה נגדים: $R_1=5\Omega$, $R_2=9\Omega$, $R_3=12\Omega$, $R_4=14\Omega$ מחוברים בטור למקור מתח של 100 וולט. חשב את ההספק המתפזר בכל נגד.

ח'102) בהתיחס לציור ח'52, חשב את מפל המתח על כל אחד מהצרכנים ואת ההספק המתפזר בו.



ציור ח'52